WIADOMOSCI TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

Nr. 6.

LIPIEC — 1930.

TREŚĆ:

SOMMAIRE:

UWAGA. Liczby umieszczone nad tytułami poszczególnych artykułów w tekście, oznaczają symbole klasyfikacji dziesiętnej.

623.42 + 531.573 + 623.53

Ppłk. inż. JAKOWSKI KAZIMIERZ

ZASTOSOWANIE SPOSOBU WYKREŚLNEGO DO ROZWIĄZANIA PEWNYCH ZADAŃ Z TEORJI LUF SAMOWZMOCNIONYCH

WSTĘP.

Jeżeli w stosunku do luf działowych złożonych zastosowanie sposobów[1]) wykreślnych obliczania ich wytrzymałości, zwłaszcza zaś sposobu płk. Henry daje znaczne korzyści z punktu widzenia praktycznego w porównaniu z rachunkiem analitycznym (wzorami)— zarówno dla określenia najwyższej wytrzymałości teoretycznej jak też i najwyższej mocy sprężystej oraz zaciskania w poszczególnych stykach,—to w stosunku do luf samowzmocnionych rzecz przedstawia się nieco odmienniej; zachodzą tu zresztą różnice o wiele głębsze niż w teorji luf złożonych zależnie od tego czy będziemy wychodzili z hipotezy Barré de Saint-Venant, czy też z przyjętej oficjalnie w ostatnich czasach w artylerji francuskiej hipotezy odkształceń przez ślizganie bez tarcia (Coulomb-Tresca-Malaval[2]); w pierwszym wypadku obliczenia wzorami są tak żmudne i skomplikowane, że inż. gen. Jacob[3]) radzi stosować najszerzej sposób nomograficzny, przyczem dzieli odnośne zadanie na siedem wypadków w zależności od danych zadania i przytacza siedem odnośnych wykresów (abaków),

---

[1]) p. Wiadomości techniczno-artyleryjskie Nr. 2 str. 194 — 205 i Bibljoteka Przeglądu Artyl. Nr. 5 (Wytrzymałość luf działowych) str. 113—133.

[2]) p. Przegl. Artyl. tom VII Nr. 4 (październik 1928) str. 335—343 i Bibljoteka Przegl. Artyl. loc. cit. str. 36—49.

[3]) Ing. gén. Jacob „Résistance et construction des bouches à feu“ wyd. 1920 tom I. str. 153—293 oraz tablice II—VII i IX, dołączone do tomu II tegoż wydania.

które właściwie stanowią nomograficzne rozwiązanie równań, otrzymywanych w tych wypadkach, a nie wykreślne przedstawienie stanu rury; przeciwnie, w założeniu hipotezy odkształceń przez ślizganie bez tarcia obliczenia analityczne upraszczają się tak dalece, że poszczególne odnośne zadania mogą być bez specjalnej komplikacji rozwiązane zapomocą rachowania wzorami, to też poszczególne francuskie podręczniki, wychodzące z założeń tej ostatniej hipotezy, nie wspominają nawet o zastosowaniu sposobu wykreślnego do teorji luf samowzmocnionych.

Jednakże zastosowanie takie może być ciekawe nietylko z tego punktu widzenia, że wykresy pozwalają bardziej poglądowo ująć sam przebieg odnośnych zjawisk, lecz pozwala ono rozwiązać w niektórych wypadkach w sposób krótszy i prostszy poszczególne zadania z teorji luf samowzmocnionych, które uprzednio ujęte były analitycznie bez stosowania sposobu wykreślnego [4]); takie właśnie zastosowanie sposobu wykreślnego płk. Henry będzie przedmiotem niniejszej pracy, przyczem zastosujemy tu ten sam sposób rozumowania [5]) jak w teorji luf wzmocnionych drutem, co będzie tem bardziej uzasadnione, że o ile w tym ostatnim wypadku wieloboki wykresów przekształcały się w linje krzywe dzięki rozwiązaniu asymptotycznemu (niemaltycznemu) przez przyjęcie grubości drutu za wartość nieskończenie małą, to w zastosowaniu do luf samowzmocnionych rozwiązanie takie będzie musiało być uznane za zupełnie dokładne z tego punktu widzenia, gdyż grubość stykających się ze sobą warstw o różnych granicach sprężystości jest tu w samej rzeczy nieskończenie mała.

Scharakteryzujemy przedewszystkiem sam sposób przedstawienia wykreślnego stanu rury samowzmocnionej, następnie zaś rozpatrzymy kolejno zastosowanie tego sposobu do:

— ustalenia zasadniczego wzoru mocy sprężystej rury samowzmocnionej;
— ustalenia warunków bezpieczeństwa przy samowzmacnianiu;
— wreszcie zaś zastosujemy omówiony sposób do luf samowzmocnionych dwublokowych.

---

[4]) p. Bibljoteka Przeglądu Artyl. loc. cit. str. 153—178.
[5]) „ „ „ loc. cit. 135—142.

I. PRZEDSTAWIENIE WYKREŚLNE STANU RURY SAMOWZMOCNIONEJ.

A. W okresie zimnej obróbki całkowitej.

1) *Zasada wykresu* (rys. 1) *i jego zasadnicze własności.*

Stosując do rury o promieniu wewnętrznym R_0 i o promieniu zewnętrznym R_1 ogólne zasady metody płk. Henry w założeniu hipotezy odkształceń przez ślizganie bez tarcia, odkładamy na osi odciętych

$$x_0 = \frac{1}{R_0^2} = 0x_0 \quad \text{i} \quad x_1 = \frac{1}{R_1^2} = 0x_1 .$$

Wiemy, że w wypadku, gdy jednostkowe odkształcenie trwałe metalu nie przekracza 0,03, możemy przyjąć [6]), iż granica sprężystości, uzyskana przy samowzmocnieniu, w punkcie ścianki rury odpowiadających promieniowi R, wyraża się wzorem

$$E = f(R) = a + b\frac{c}{R^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

w którym to wzorze dla stali armatniej przyjąć możemy

$$b = 770 \text{ kg/mm}^2$$

$$a = \frac{30}{31} E_i = 0{,}967\, E_i$$

gdzie E_i oznacza początkową granicę sprężystości metalu rury (przed samowzmocnieniem); spółczynnik c jest zmienny i zależny od stopnia, do którego została posunięta zimna obróbka wnętrza rury przy samowzmocnieniu [7]).

Ponieważ na wykresie wartości odciętych są odwrotnościami kwadratów promieni

$$x = \frac{1}{R^2}$$

wzór (1) możemy napisać

$$E = a + bcx \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

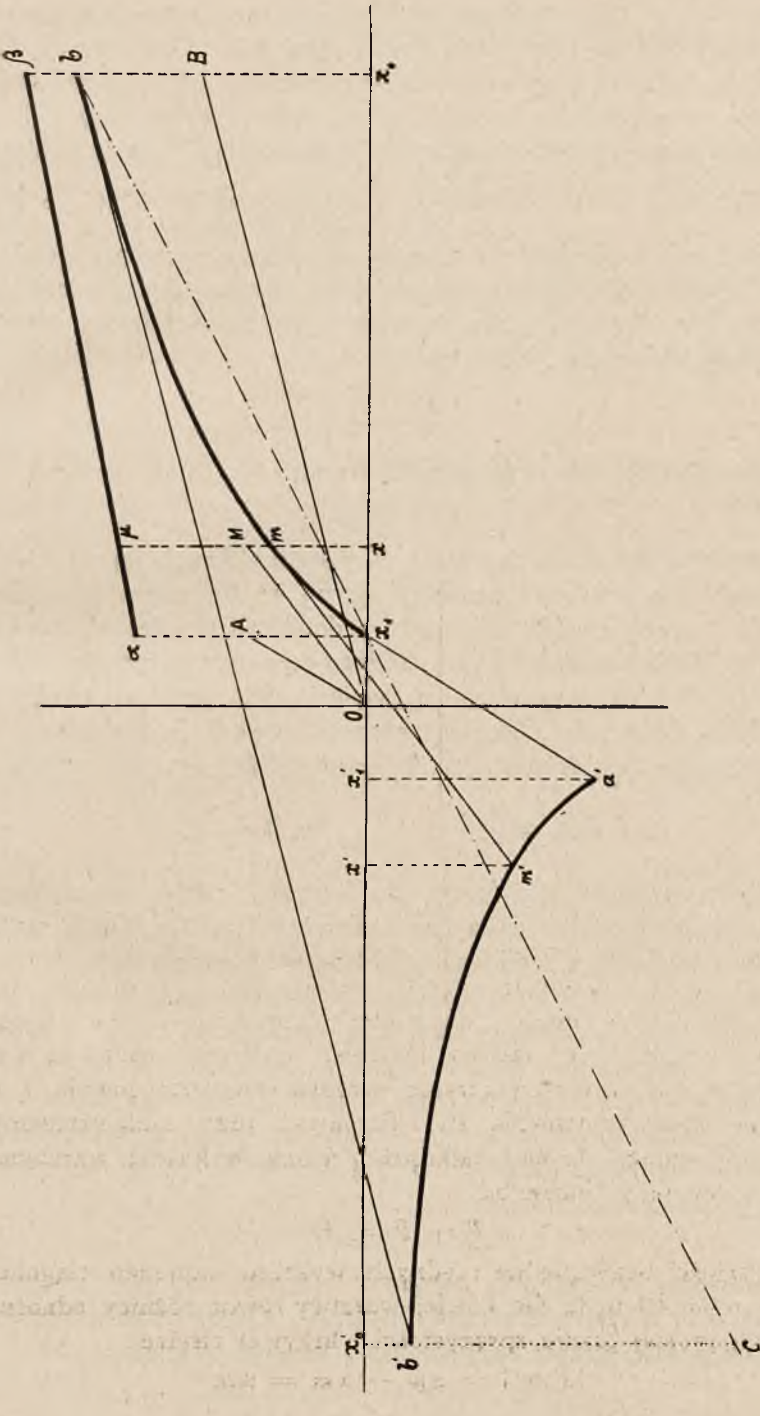
z równania (2), które jest równaniem pierwszego stopnia w stosunku do E i x, wynika, że nabyta na skutek samowzmocnienia granica

---

[6]) p. Bibljoteka Przeglądu Artyl. loc. cit. str. 59, 153 i 156.

[7]) a więc zależny od ciśnienia wewnętrznego P_0 rozwiniętego w przewodzie rury w czasie samowzmocnienia, z którem c związane jest wzorem

$$P_0 = 2{,}3\, a \log_{10} \frac{R_1}{R_0} + \frac{bc}{2}\left(\frac{1}{R_0^2} - \frac{1}{R_1^2}\right), \quad \text{skąd } c = \varphi\,(P_0).$$



Rys. 1.

sprężystości w poszczególnych warstwach rury może być przedstawiona na wykresie przez linję prostą taką, jak $\alpha\beta$ na rys. 1.

Wykres ciśnień rozpoczyna się w punkcie x_1, gdyż w zewnętrznej warstwie rury ciśnienie wynosi 1 atm., co jak zwykle przy obliczaniu luf działowych może być zaniedbane; przyjmujemy więc w punkcie x_1 ciśnienie $P_1 = 0$. Dla warstwy, odpowiadającej odciętej $x = \frac{1}{R^2}$, będziemy mieli ciśnienia $P = xm$, przyczem — w myśl ogólnych zasad sposobu płk. Henry w założeniu hipotezy odkształceń przez ślizganie bez tarcia—styczna do krzywej ciśnień w punkcie m będzie równoległą do prostej OM takiej, iż

$$xM = \frac{E}{2};$$

ponieważ zaś dla tej samej warstwy mamy

$$E = x\mu,$$

więc styczne do krzywej ciśnień w poszczególnych jej punktach są równoległe do prostych przechodzących przez początek spółrzędnych O i przez środek odnośnej rzędnej linji prostej $\alpha\beta$ przedstawiającej, jak widzieliśmy wyżej, zmiany granicy sprężystości. Wynika stąd, że styczna w punkcie x_1 wyjściowym krzywej ciśnień jest równoległą do prostej OA, zaś styczna w punkcie końcowym b tej samej krzywej jest równoległą do prostej OB, przyczem mamy

$$x_1 A = \frac{x_1 \alpha}{2} \quad \text{i} \quad x_0 B = \frac{x_0 \beta}{2}$$

Wyżej wspomniane styczne do krzywej ciśnień w poszczególnych jej punktach, odpowiadających odciętym Ox_1, Ox, Ox_0... przedłużone do przecięcia z rzędnemi punktów symetrycznych x'_1, x', x'_0..., leżących na osi odciętych, dają—w myśl zasad sposobu płk. Henry w zastosowaniu do hipotezy Coulomba—punkty a', m', b'... wykresu naprężeń ciągnących; rzędna końcowa wykresu ciśnień $x_0 b$ daje ciśnienie w warstwie wewnętrznej w czasie samowzmocnienia, a więc ciśnienie samowzmocnienia P_0. Ponieważ przy samowzmocnieniu w okresie zimnej obróbki całkowitej mamy w każdej warstwie na zasadzie hipotezy Coulomba

$$T + P = E$$

więc wartości bezwzględne rzędnych wykresu naprężeń ciągnących (krzywa $a' m' b'$) będą dla każdej warstwy równe różnicy odnośnych rzędnych prostej granic sprężystości i krzywej ciśnień

$$|x' m'| = x\mu - xm = \mu m$$

w szczególności dla punktów końcowego i wyjściowego będziemy mieli

$$|x'_0 b'| = x_0 \beta - x_0 b = \beta b$$

$$|x'_1 a'| = x_1 \alpha$$

innemi słowy, wykres ciśnień P (krzywa $x_1\ m\ b$) może być wykorzystany jako wykres naprężeń ciągnących T pod warunkiem, aby przyjąć za oś odciętych prostą $\alpha\beta$.

Powyższe rozważania pozwalają określić równania krzywych ciśnień i naprężeń ciągnących; jako dane zadania mamy

$$R_0,\ R_1,\ E_i \text{ i } c \left(\text{a więc } x_0 = \frac{1}{R_0^2},\quad x_1 = \frac{1}{R_1^2},\quad a = \frac{30}{31} E_i\right).$$

2) *Równanie krzywej ciśnień P.*

Z tego, co było powiedziane w punkcie 1) odnośnie stycznych w poszczególnych punktach wykresu ciśnień, wynika, że spółczynnik kątowy stycznej w punkcie m

$$\frac{dP}{dx} = \frac{Mx}{Ox} = \frac{E}{2x}$$

biorąc zaś pod uwagę wzór (2)

$$\frac{dP}{dx} = \frac{a + bcx}{2x} = \frac{a}{2x} + \frac{bc}{2}$$

całkując i oznaczając przez Log logarytm naturalny, otrzymamy

$$P = \frac{a}{2} \operatorname{Log} x + \frac{bc}{2} x + C'$$

dla określenia stałej całkowania C', napiszemy, że na zewnętrzne powierzchni rury t. j. dla $x = x_1$ mamy $P = 0$

$$\frac{a}{2} \operatorname{Log} x_1 + \frac{bc}{2} x_1 + C' = 0$$

$$C' = -\frac{a}{2} \operatorname{Log} x_1 - \frac{bc}{2} x_1$$

a więc

$$P = \frac{a}{2} \operatorname{Log} x + \frac{bc}{2} x - \frac{a}{2} \operatorname{Log} x_1 - \frac{bc}{2} x_1,$$

$$P = \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{x}{x_1} + \frac{bc}{2} (x - x_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

3) *Równanie krzywej naprężeń ciągnących T.*

Ponieważ dla każdej warstwy mamy na zasadzie hipotezy Coulomba

$$T = E - P$$

więc, biorąc pod uwagę wzory (2) i (3), możemy napisać [8])

$$T = a + bcx - \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{x}{x_1} - \frac{bc}{2}(x - x_1) \quad . \; . \; . \; . \quad (4)$$

B. W okresie półsprężystym.

1) *Zasada wykresu* (rys. 2) *i jego zasadnicze własności.* Będziemy rozpatrywali rurę o promieniu wewnętrznym R_0 i zewnętrznym R_1, samowzmocnioną półsprężyście (okres zimnej obróbki częściowej), w której to rurze początkowa granica sprężystości wynosiła E_i a odkształcenia trwałe podczas samowzmacniania nie sięgnęły dalej niż do warstwy pośredniej o promieniu R, takim iż $R_1 > R > R_0$. Jak wiadomo[9]), rura taka może być rozpatrywana, jako zespół dwóch rur, a mianowicie: a) rury prostej niesamowzmocnionej o promieniach wewnętrznym R i zewnętrznym R_1. b) rury samowzmocnionej o promieniach wewnętrznym R_0 i zewnętrznym R, w której skutki zimnej obróbki zatrzymały się na warstwie zewnętrznej o promieniu R tak, iż ta warstwa zewnętrzna ma niezmienioną granicę sprężystości E_i. Z powyższego wynika, że część odnośnego wykresu, (rys. 2) dotycząca rury (a) będzie składała się z linji prostej, zaś część wykresu, dotycząca rury (b) będzie składała się z dwóch krzywych (krzywa ciśnień i krzywa naprężeń). Biorąc, jak uprzednio

$$x_0 = \frac{1}{R_0^2} = Ox_0; \quad x_1 = \frac{1}{R_1^2} = Ox_1; \quad x = \frac{1}{R^2} = Ox$$

oraz punkty x_0', x_1' i x' symetryczne względem osi rzędnych, otrzymamy:

---

[8]) wzór (4) daje dla każdej warstwy wartość bezwzględną naprężenia ciągnącego T w funkcji danych zadania oraz promienia R odnośnej warstwy $\left(x = \frac{1}{R^2}\right)$; jeżeli wszakże idzie o równanie analityczne krzywej a' m' b', znajdującej się w trzecim kwadrancie, to musielibyśmy we wzorze (4) zamienić

T przez $-T$

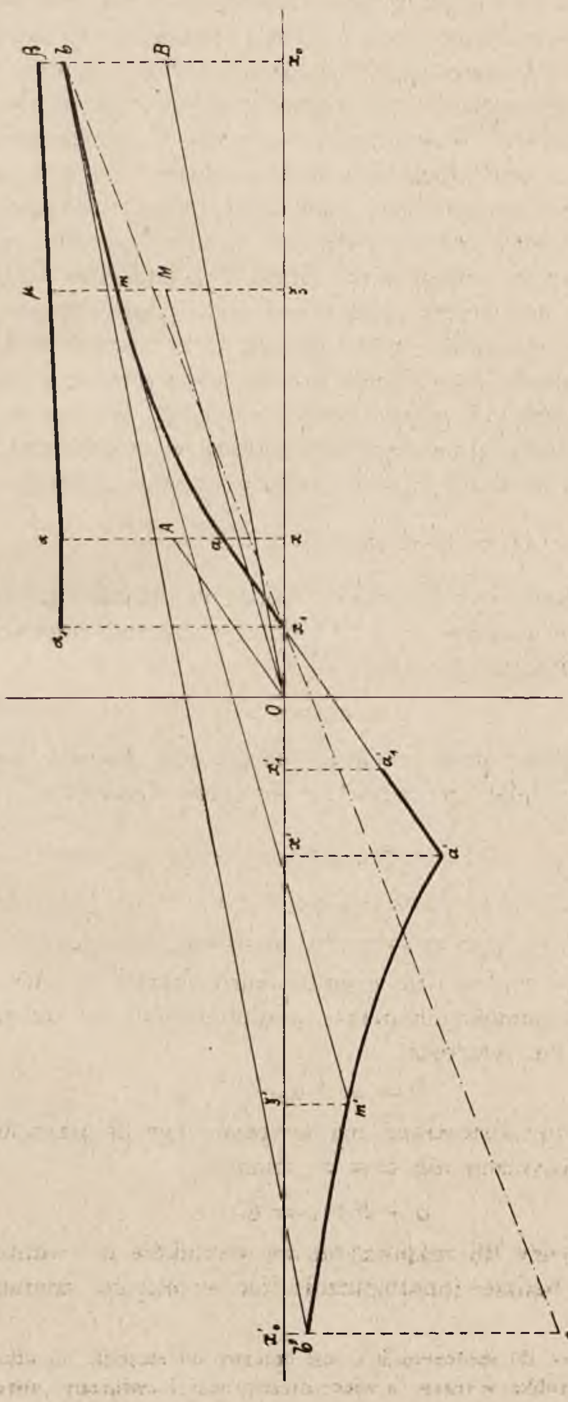
x przez $-x$

x_1 przez $-x_1$

wobec czego odnośne równanie byłoby

$$T = -a + bcx + \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{x}{x_1} - \frac{bc}{2}(x - x_1) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4').$$

[9]) p. Bibljoteka Przeglądu Artyl. loc. cit. str. 158.



Rys. 2.

a) wykres rury (a): granica sprężystości we wszystkich warstwach rury (a) pozostaje stałą i równą początkowej granicy sprężystości metalu E_i, może więc być przedstawiona na wykresie przez linję prostą równoległą do osi odciętych (jak $\alpha_1 \alpha$ na rys. 2, gdzie $x_1 \alpha_1 = E_i$); ponieważ wewnętrzna warstwa o promieniu R w rozpatrywanej rurze jest obciążona w ten sposób, że granica sprężystości tej warstwy zostaje przy samowzmacnianiu osiągnięta, ale nie przekroczona, — więc na mocy ogólnej zasady sposobu płk. Henry w założeniu hipotezy odkształceń przez ślizganie bez tarcia wykres ciśnień w rurze (a) będzie odcinkiem linji prostej równoległej do prostej łączącej początek spółrzędnych O ze środkiem A odnośnej rzędnej $x\alpha$ wykresu, dotyczącego granicy sprężystości; wykres ciśnień w rurze (a) przechodzi przez punkt x_1, gdyż w zewnętrznej warstwie tej rury, będącej zarazem zewnętrzną warstwą rury całkowitej, przyjmujemy, iż ciśnienie $P_1 = 0$; będzie to więc odcinek

$$x_1 a \parallel OA \text{ przyczem } xA = \frac{x\alpha}{2};$$

przedłużając prostą $x_1 a$ w stronę odciętych ujemnych, otrzymamy między rzędnemi punktów x_1' i x' wykres naprężeń ciągnących $a_1' a'$; z rysunku wynika, że

$$x' a' = a\alpha$$

co jest zrozumiałe, gdyż z faktu osiągnięcia granicy sprężystości w warstwie x wynika na zasadzie hipotezy Coulomba, że w warstwie tej

$$T + P = E_i$$

czyli
$$x' a' + xa = x\alpha$$

więc
$$x' a' = x\alpha - xa = a\alpha.$$

b) Wykres rury (b): granica sprężystości w rurze (b) uzyskuje na skutek samowzmocnienia, podobnie jak w okresie zimnej obróbki całkowitej, wartości

$$E = a + bc\xi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)^{10)}$$

może więc być przedstawiona na wykresie (rys. 2) przez linję prostą taką, jak $\alpha\beta$, przyczem dla $\xi = x$, mamy

$$a + bcx = E_i; \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5')$$

wykres ciśnień rury (b) rozpoczyna się w punkcie a i odnośna krzywa w pukcie a będzie (analogicznie jak w okresie zimnej obróbki

---

[10]) We wzorze (5) spółczynnik c jest zależny od stopnia, do którego została posunięta zimna obróbka w rurze, a więc zależny od x i związany pośrednio z P^0.

całkowitej) styczną do prostej $a'a$. Dla warstwy, odpowiadającej w rurze (b) promieniowi ρ,

$$R > \rho > R_0$$

co odpowiada na wykresie odciętej

$$\xi = \frac{1}{\rho^2},$$

będziemy mieli ciśnienie $P = \xi m$; analogicznie jak w § A, styczna do krzywej ciśnień w punkcie m będzie

$$m\,m' \parallel O\,M$$

przyczem
$$\xi M = \frac{\xi \mu}{2}$$

zaś punkt m', znajdujący się na rzędnej punktu ξ', takiego iż $|O\,\xi'| = O\xi$, jest punktem wykresu naprężeń ciągnących, odpowiadającym warstwie o promieniu ρ, przyczem

$$T = |\xi'\,m'| = \mu\,m$$

rzędna końcowa $x_0\,b$ wykresu ciśnień daje ciśnienie samowzmocnienia P_0, przyczem tu również mamy

$$|x'_0\,b'| = \beta\,b \qquad \text{oraz} \qquad b\,b' \parallel O\,B$$

gdzie punkt B jest środkiem rzędnej $x_0\,\beta$; dochodzimy więc (analogicznie jak w § A) do wniosku, że wykres ciśnień P (krzywa $a\,m\,b$) może być wykorzystany jako wykres naprężeń ciągnących, pod warunkiem, aby przyjąć za oś odciętych prostą $\alpha\beta$.

2) *Równania, dotyczące wykresu ciśnień.*

a) dla rury (a) — prosta $x_1\,a$, przechodząca przez punkt x_1 (odcięta x_1, rzędna 0) i mająca spółczynnik kątowy $\frac{E_i}{2x}$, ma równanie

$$P = \frac{E_i}{2x}(\xi - x_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

(gdzie zmienne są rzędna P i odcięta ξ, zaś x_1 i x mają dla danego stanu równowagi rury wartości stałe).

b) dla rury (b): dane zadania są tu

$x_0 = \frac{1}{R_0^2}$; $x_1 = \frac{1}{R_1^2}$; $x = \frac{1}{R^2}$; $E_i\left(a = \frac{30}{31}E_i\right)$ oraz c związane z x)

mamy tu dla krzywej ciśnień P

$$\frac{dP}{d\xi} = \frac{E}{2\xi}$$

czyli biorąc pod uwagę wzór (5)

$$\frac{dP}{d\xi} = \frac{a + bc\xi}{2\xi} = \frac{a}{2\xi} + \frac{bc}{2}$$

całkując i oznaczając przez Log logarytm naturalny

$$P = \frac{a}{2} \operatorname{Log} \xi + \frac{bc}{2} \xi + C'$$

dla określenia stałej całkowania napiszemy, że na zewnętrznej powierzchni rury (b), t. j. w punkcie odpowiadającym odciętej $\xi = x$ mamy na zasadzie wzoru (6)

$$P = \frac{E_i}{2} \left(1 - \frac{x_1}{x}\right)$$

a więc

$$\frac{E_i}{2} \left(1 - \frac{x_1}{x}\right) = \frac{a}{2} \operatorname{Log} x + \frac{bc}{2} x + C'$$

skąd

$$C' = \frac{E_i}{2} \left(1 - \frac{x_1}{x}\right) - \frac{a}{2} \operatorname{Log} x - \frac{bc}{2} x$$

czyli

$$P = \frac{E_i}{2} \left(1 - \frac{x_1}{x}\right) + \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{\xi}{x} + \frac{bc}{2} (\xi - x) \quad . \; . \; . \quad (7)$$

3) *Równania, dotyczące wykresu naprężeń ciągnących.*

a) dla rury (a)—odcinek $a' a'_1$, będący przedłużeniem odcinka prostej $x_1 a$, ma to samo równanie (6), w którem musimy wszakże zamienić P przez $-T$ a więc

$$T = \frac{E_i}{2x} (x_1 - \xi) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

b) dla rury (b)—ponieważ tu dla każdej warstwy mamy

$$T = E - P$$

więc, biorąc pod uwagę wzory (5) i (7), otrzymamy[11])

---

[11]) nasuwa się tu to samo zastrzeżenie co w odnośniku do str. 632, a mianowicie, że dla otrzymania równania analitycznego krzywej $a' \, m' \, b'$, znajdującej się w trzecim kwadrancie, musielibyśmy w odnośnych wyrazach wzoru (9) zamienić

T przez $-T$
ξ przez $-\xi$
x przez $-x$

wobec czego odnośne równanie przyjęłoby postać

$$T = -a + bc\xi - \frac{E_i}{2} \left(1 - \frac{x_1}{x}\right) + \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{\xi}{x} - \frac{bc}{2} (\xi - x) \quad . \; . \; . \quad (9')$$

$$T = a + bc\xi - \frac{E_i}{2}\left(1 - \frac{x_1}{x}\right) - \frac{a}{2}\,\mathrm{Log}\,\frac{\xi}{x} - \frac{bc}{2}\,(\xi - x) \quad . \quad . \quad (9)$$

II. ZASADNICZY WZÓR MOCY SPRĘŻYSTEJ LUFY SAMOWZMOCNIONEJ.

A. W okresie zimnej obróbki całkowitej.

Dla otrzymania mocy sprężystej rury samowzmocnionej, która jest, jak wiadomo, równą ciśnieniu samowzmocnienia, a więc ciśnieniu P_0 rozwiniętemu w warstwie wewnętrznej rury, możemy zastosować wzór (3), w którym zamiast x podstawimy wartość odciętej $x_0 = \frac{1}{R_0^2}$, odpowiadającej promieniowi wewnętrznemu rury; otrzymamy więc

$$P_0 = \frac{a}{2}\,\mathrm{Log}\,\frac{x_0}{x_1} + \frac{bc}{2}\,(x_0 - x_1)$$

podstawiając zaś zamiast x_0 i x_1 ich wartości w funkcji promieni, oraz zastępując logarytm naturalny przez logarytm dziesiętny, otrzymamy znany wzór na samowzmocnienie w okresie zimnej obróbki całkowitej

$$P_0 = 2{,}3\ a\ \log_{10}\frac{R_1}{R_0} + \frac{bc}{2}\left(\frac{1}{R_0^2} - \frac{1}{R_1^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

przyjmując zaś

$$a = \frac{30}{31}\,E_i$$

$$P_0 = 2{,}225\ E_i\ \log_{10}\frac{R_1}{R_0} + \frac{bc}{2}\left(\frac{1}{R_0^2} - \frac{1}{R_1^2}\right)$$

lub

$$P_0 = 1{,}1125\ E_i\ \log_{10}\frac{x_0}{x_1} + \frac{bc}{2}\,(x_0 - x_1)$$

stąd zaś

$$\frac{bc}{2} = \frac{P_0 - 2{,}225\ E_i\ \log_{10}\dfrac{R_1}{R_0}}{\dfrac{1}{R_0^2} - \dfrac{1}{R_1^2}} = \frac{P_0 - 1{,}1125\,E_i\,\log_{10}\dfrac{x_0}{x_1}}{x_0 - x_1} \quad . \quad . \quad . \quad (10')$$

podstawiając tę wartość $\frac{bc}{2}$ do równań (2), (3) i (4) otrzymamy następujące wzory, dające w warstwie, odpowiadającej promieniowi R w rurze samowzmocnionej w okresie zimnej obróbki całkowitej, w funkcji ciśnienia samowzmocnienia P_0, początkowej granicy sprężystości E_i oraz promieni wewnętrznego i zewnętrznego rury i promienia rozpatrywanej warstwy:

1) nabytą granicę sprężystości

$$E = 0{,}967\, E_i + \frac{P_0 - 2{,}225\, E_i \log_{10} \dfrac{R_1}{R_0}}{\dfrac{1}{R_0^2} - \dfrac{1}{R_1^2}} \cdot \frac{2}{R^2} \quad \ldots \quad (11)$$

2) ciśnienie

$$P = 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R} + \left(P_0 - 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R_0}\right) \frac{\dfrac{1}{R^2} - \dfrac{1}{R_1^2}}{\dfrac{1}{R_0^2} - \dfrac{1}{R_1^2}} \quad \ldots \quad (12)$$

3) naprężenie ciągnące

$$T = 0{,}967\, E_i - 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R} + \left(P_0 - 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R_0}\right) \frac{\dfrac{1}{R^2} + \dfrac{1}{R_1^2}}{\dfrac{1}{R_0^2} - \dfrac{1}{R_1^2}} \quad . \quad (13)$$

B. W okresie półsprężystym.

Moc sprężysta rury samowzmocnionej w okresie zimnej obróbki częściowej, analogicznie jak w § A, równa się ciśnieniu samowzmocnienia, czyli ciśnieniu P_0 rozwiniętemu w warstwie, odpowiadającej na wykresie rys. 2 odciętej x_0; przyjmując więc we wzorze (7)

$$\xi = x_0$$

otrzymamy

$$P_0 = \frac{E_i}{2}\left(1 - \frac{x_1}{x}\right) + \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{x_0}{x} + \frac{b\,c}{2}(x_0 - x) \quad \ldots \quad (14)$$

prócz tego wzor (5′) daje

$$E_i = a + b\,c\,x \qquad (5')$$

Równania (14) i (5′) uwypuklają wzajemną zależnosc między P_0, c i x; ze wzoru (5′) otrzymamy

$$b\,c = \frac{E_i - a}{x}$$

wobec tego wzór (14) przyjmie postać

$$P_0 = \frac{E_i}{2}\left(1 - \frac{x_1}{x}\right) + \frac{a}{2} \operatorname{Log} \frac{x_0}{x} + \frac{E_i - a}{2\,x}(x_0 - x) \quad \ldots \quad (15)$$

wzór (15) pozwala określić:

— bądź ciśnienie samowzmocnienia P_0, które musimy rozwinąć, aby skutki zimnej obróbki osiągnęły daną warstwę o promieniu R takim, iż

$$\frac{1}{R^2} = x$$

— bądź warstwę (określoną przez odciętą x), do której sięgną skutki zimnej obróbki pod działaniem danego wewnętrznego ciśnienia P_0.

Równanie (15), w którem zamiast wartości odciętych uwidocznimy odnośne wartości promieni, przyczem uwzględnimy, że

$$a = \frac{30}{31} E_i$$

przyjmie postać

$$P_0 = \frac{E_i}{2}\left(1 - \frac{R^2}{R_1^2}\right) + 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R}{R_0} + 0{,}0165\, E_i \left(\frac{R^2}{R_0^2} - 1\right) \quad (15')$$

Wzory (5), (7) i (9) pozwalają również (analogicznie jak w § A) określić w funkcji początkowej granicy sprężystości E_i, — promieni rury: wewnętrznego R_0, zewnętrznego R_1, promienia R warstwy, do której sięgnęły skutki zimnej obróbki, oraz promienia ρ rozpatrywanej warstwy, wartości następujące w warstwie o promieniu ρ:

1) nabytą granicę sprężystości

$$E = E_i\left(0{,}967 + 0{,}033 \frac{R^2}{\rho^2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (16)$$

2) ciśnienie

$$P = E_i\left(0{,}4835 + 0{,}0165 \frac{R^2}{\rho^2} - \frac{R^2}{2 R_1^2} + 2{,}225 \log_{10} \frac{R}{\rho}\right) \quad . \quad (17)$$

3) naprężenie ciągnące

$$T = E_i\left(0{,}4835 + 0{,}0165 \frac{R^2}{\rho^2} + \frac{R^2}{2 R_1^2} - 2{,}225 \log_{10} \frac{R}{\rho}\right) \quad . \quad (18)$$

III. USTALENIE WARUNKÓW BEZPIECZEŃSTWA PRZY SAMOWZMACNIANIU.

Jak wiadomo[12]), warunki bezpieczeństwa przy samowzmacnianiu polegają na

(A) niedopuszczeniu do osiągnięcia granicy wytrzymałości na rozerwanie w czasie samowzmacniania,

(B) niedopuszczeniu do zaistnienia nowych odkształceń trwałych w czasie powrotu lufy do stanu spoczynku po samowzmocnieniu, przyczem warunek (A) wystarcza rozpatrzeć tylko w okresie zimnej obróbki całkowitej, natomiast warunek (B) musi być rozpatrzony

---

[12]) p. Bibljoteka Przeglądu Art. loc. cit. str. 164 — 177 i Przegląd Artyl. Nr. 6 tom VI (czerwiec 1928) str. 533 — 552.

zarówno w okresie zimnej obróbki całkowitej, jak też i w okresie zimnej obróbki częściowej (półsprężystym).

A. Wytrzymałość na rozerwanie w czasie samowzmacniania.

Aby wysiłek, wywołany w warstwie wewnętrznej przez ciśnienie P_0, nie przekroczył wytrzymałości metalu na rozerwanie, koniecznem jest, aby

$$T_0 + P_0 < \mathfrak{R} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (19)$$

gdzie $\mathfrak{R}$ oznacza granicę wytrzymałości metalu na rozerwanie przed samowzmocnieniem (trzeba więc, aby na wykresie rys. 1 wartość rzędnej $x_0 b$ była mniejsza niż $\mathfrak{R}$).

Zadanie to pozwalają więc rozwiązać wzory (11) — (13), w których przyjmiemy $R = R_0$, co prowadzi do wniosku łącznie z wzorem (19), że odnośny warunek będzie

$$0{,}967\, E_i + \frac{P_0 - 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R_0}}{\frac{1}{R_0^2} - \frac{1}{R_1^2}} \cdot \frac{2}{R_0^2} < \mathfrak{R}$$

czyli $$P_0 < E_i \left[2{,}225 \log_{10} \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{\mathfrak{R}}{E_i} - 0{,}967 \right) \left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2} \right) \right] \quad . \; . \quad (20)$$

który to wzór wskazuje, że graniczne ciśnienie P_0 dla danej stali zależne jest od grubości rury i będzie tem większe, im większy jest stosunek granicy wytrzymałości na rozerwanie $\mathfrak{R}$ do granicy sprężystości E_i.

B. Nowe odkształcenia trwałe w czasie powrotu do stanu spoczynku po samowzmocnieniu.

Oś czyli linja zer w czasie spoczynku na obydwu wykresach (rys. 1 i 2) przechodzi przez punkty b i x_1, gdyż ciśnienie w czasie spoczynku przyjmujemy jako równe zeru, na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej rury; linja zer przecina rzędną punktu x_0' w punkcie c; naprężenie styczne ściskające, powstające w warstwie wewnętrznej po powrocie do stanu spoczynku i wywołane przez zaciskanie średnicowe spowodowane przez samowzmocnienie, jest więc przedstawione na wykresach przez odcinek $b'c$; aby warstwa wewnętrzna, która jest z tego tytułu najbardziej obciążona, nie mogła otrzymać nowych odkształceń trwałych skracających, wartość wspo-

mnianego naprężenia ściskającego musi być utrzymana poniżej pewnej granicy, co do której, jak wiadomo[13]), istnieją dwa założenia:

a) inż. gen. Jacob przypuszcza, że wystarcza wymienione naprężenie utrzymać poniżej granicy sprężystości nabytej przez warstwę wewnętrzną na skutek samowzmocnienia, co wyrazi się wzorem

$$b'c \leqslant E_0\,;$$

b) inż. gen. Malaval uważa, że granica sprężystości na ściskanie nie zostaje przez samowzmocnienie powiększona tak, jak to ma miejsce w stosunku do granicy sprężystości na ciągnienie, wobec czego należy utrzymać wyżej wymienione naprężenie styczne poniżej początkowej granicy sprężystości metalu, co prowadzi do wzoru

$$b'c \leqslant E_i\,.$$

Zastosujemy poprzednio omówione wykresy do zbadania obydwu tych warunków w okresach zimnej obróbki zarówno całkowitej, jak i częściowej.

1. *W okresie zimnej obróbki całkowitej.*

Odcinek $b'c$ (rys. 1) zawarty jest pomiędzy prostą bx_1 i prostą bb'. Równanie prostej bx_1, która przechodzi przez dwa punkty

b — odcięta x_0, rzędna P_0

x_1 — odcięta x_1, rzędna 0

jest następujące

$$y = P_0 \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

Prosta bb' ma spółczynnik kątowy

$$\frac{E_0}{2x_0} = \frac{a + bc\,x_0}{2x_0}$$

a więc równanie

$$y = P_0 + \frac{a + bcx_0}{2x_0}(x - x_0) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

biorąc rzędne tych prostych, odpowiadające odciętej $x = -x_0$, otrzymamy

$$x_0'c = -P_0 \frac{x_0 + x_1}{x_0 - x_1}$$

$$x_0'b' = P_0 - a - bcx_0$$

wobec czego wartość bezwzględna naprężenia stycznego ściskającego wyrazi się przez

[13]) p. Bibljoteka Przeglądu Artyl. loc. cit. str. 174 — 175 i Przegląd Artyl. Nr. 6/VI str. 549.

$$|b'c| = \frac{2P_0 x_0}{x_0 - x_1} - a - bcx_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

a) warunek $b'c \leqslant E_0$ prowadzi do

$$\frac{2P_0 x_0}{x_0 - x_1} - a - bc\, x_0 \leqslant a + bc\, x_0$$

czyli

$$P_0 \frac{x_0}{x_0 - x_1} \leqslant a + bc\, x_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

podstawiając we wzorze (24) $a = 0{,}967\, E_i$; $x_0 = \frac{1}{R_0^2}$; $x_1 = \frac{1}{R_1^2}$ oraz wartość bc ze wzoru (10') otrzymamy

$$P_0 \geqslant 4{,}45\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R_0} - 0{,}967\, E_i \left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}\right) . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

dla każdej grubości ścianki, określonej przez $\frac{R_1}{R_0}$, otrzymamy więc pewną *dolną* granicę ciśnienia samowzmocnienia, odpowiadającego warunkowi $b'c \leqslant E_0$, np. dla grubości ścianki równej kalibrowi, czyli $\frac{R_1}{R_0} = 3$, otrzymamy $P_0 \geqslant 1{,}26\, E_i$ i t d.

b) warunek $b'c \leqslant E_i$ prowadzi do

$$\frac{2P_0 x_0}{x_0 - x_1} - a - bc\, x_0 < E_i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

przy przekształcaniu wzoru (25) analogicznem jak (24), ciśnienie samowzmocnienia P_0 oraz początkowa granica sprężystości E_i, zostają wykluczone, wobec czego otrzymujemy

$$4{,}45 \log_{10} \frac{R_1}{R_0} \leqslant 1{,}967 \left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}\right) . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

skąd

$$\frac{R_1}{R_0} \leqslant 2{,}27$$

wzór (27) wskazuje, że poprawka Malaval'a prowadzi do ograniczenia *nie ciśnienia samowzmocnienia, lecz grubości rury*, poddanej samowzmocnieniu.

2. *W okresie zimnej obróbki częściowej (półsprężystym).*

Odcinek $b'c$ (rys. 2) zawarty jest między prostą bx_1 a prostą bb'; równanie prostej, łączącej punkty b (x_0, P_0) i x_1 $(x_1, 0)$ pozostaje to samo, co w p. 1; to samo dotyczy prostej bb'; otrzymamy więc

dla wartości bezwzględnej naprężenia stycznego ściskającego ten sam wzór, co uprzednio

$$|b'c| = \frac{2P_0\,x_0}{x_0 - x_1} - a - bc\,x_0 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (23)$$

a) warunek $b'c \leqslant E_0$ prowadzi jak uprzednio do wzoru

$$P_0\,\frac{x_0}{x_0 - x_1} \leqslant a + bc\,x_0 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (24)$$

podstawiając do wzoru (24) wartość bc ze wzoru (5'), oraz przekształcając wzór (24), jak uprzednio, otrzymamy

$$P_0 \leqslant \left(0{,}967\,E_i + 0{,}033\,E_i\,\frac{R^2}{R_0^{\,2}}\right)\left(1 - \frac{R_0^{\,2}}{R_1^{\,2}}\right) \;.\;.\;.\;. \quad (28)$$

co łącznie ze wzorem (15')

$$P_0 = \frac{E_i}{2}\left(1 - \frac{R^2}{R_1^{\,2}}\right) + 2{,}225\,E_i \log_{10}\frac{R}{R_0} + 0{,}0165\,E_i\left(\frac{R^2}{R_0^{\,2}} - 1\right) \;. \quad (15')$$

rozwiązuje zadanie; w rzeczy samej we wzorach (28) i (15') mamy dwie zmienne wzajemnie zależne P_0 i R; dla każdej grubości ścianki, danej przez $\frac{R_1}{R_0}$, rozwiązujemy system (15') i (28)[14], co pozwala określić R $\left(\text{a właściwie } \frac{R}{R_0}\right)$, a następnie górną granicę ciśnienia samowzmocnienia, odpowiadającego warunkowi $b'c \leqslant E_0$ w okresie półsprężystym; np. dla grubości ścianki równej kalibrowi, czyli $\frac{R_1}{R_0} = 3$, otrzymamy

$$P_0 \leqslant 0{,}962\,E_i \text{ i t. d.}$$

Uwaga. Z powyższego widzimy, że w rozpatrzonym powyżej przykładzie $\left(\frac{R_1}{R_0} = 3\right)$ odkształcenia trwałe w czasie powrotu do stanu

---

[14]) Wzory (28) i (15') są w rzeczywistości identyczne ze wzorami (59) i (47) str. 169 Bibljoteki Przeglądu Artyleryjskiego loc cit.; właściwie systemy te dopuszczają dwa rozwiązania dla grubości ścianki rury poniżej $\frac{R_1}{R_0} = 2{,}56$; oba pierwiastki zlewają się w jeden dla $\frac{R_1}{R_0} = 2{,}52$; poniżej tej ostatniej grubości ścianki dla okresu półsprężystego samowzmocnienia nie może więc zachodzić nowych odkształceń trwałych przy powrocie do stanu spoczynku, co można dowieść w sposób analogiczny do sposobu zastosowanego w Bibljotece Przegl. Artyl. loc. cit. str. 172—174 wzgl. w Nr. 6/VI Przegl. Artyl. str. 546—548.

spoczynku po samowzmocnieniu *będą zachodziły* dla ciśnień samowzmocnienia P_0 zawartych w granicach

$$1{,}26 > P_0 > 0{,}962$$

pierwsza z tych granic przypada w okresie zimnej obróbki całkowitej, druga—w okresie półsprężystym; w miarę tego, jak grubość ścianki, określona przez $\frac{R_1}{R_0}$, zmniejsza się, granice te zwężają się; pierwsza z nich maleje szybciej niż druga, możemy więc znaleźć taką wartość $\frac{R_1}{R_0}$, iż obie granice przypadną w okresie półsprężystym; będzie to miało oczywiście miejsce dla wartości $\frac{R_1}{R_0}$ mniejszych od tej, dla której P_0 określone przez wzór (25) będzie dolną graniczną wartością ciśnienia samowzmocnienia w okresie zimnej obróbki całkowitej; dla takiej wartości P_0 granica sprężystości w warstwie zewnętrznej rury zostaje osiągnięta, a zatem wzór (11) przyjmie postać

$$E_i = 0{,}967\, E_i + \frac{P_0 - 2{,}225\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R_0}}{\frac{1}{R_0^2} - \frac{1}{R_1^2}} \cdot \frac{2}{R_1^2} \quad . \; . \; . \; (29)$$

co łącznie ze wzorem (25)

$$P_0 = 4{,}45\, E_i \log_{10} \frac{R_1}{R_0} - 0{,}967 \left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; (25)$$

pozwala określić dotyczącą wartość $\frac{R_1}{R_0}$; w rzeczy samej, wykluczając P_0 między wzorami (29) i (25) otrzymamy

$$0{,}0165 \frac{R_1^2}{R_0^2} - 0{,}967 \frac{R_0^2}{R_1^2} - 2{,}225 \log_{10} \frac{R_1}{R_0} + 0{,}9505 = 0$$

skąd

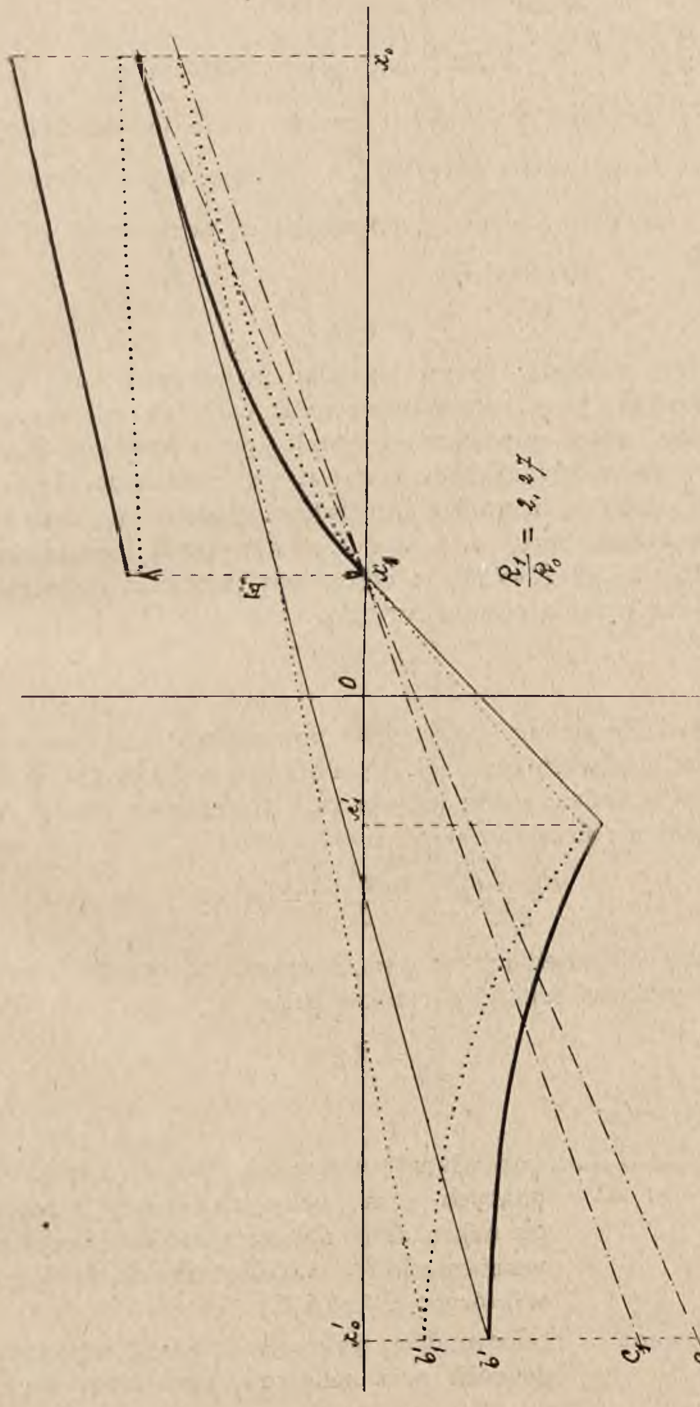
$$\frac{R_1}{R_0} = 2{,}56$$

b) w a r u n e k $b'c \leqslant E_i$ prowadzi, jak uprzednio do wzoru (26)

$$\frac{2P_0\, x_0}{x_0 - x_1} - a - bc\, x_0 \leqslant E_i \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (26)$$

zamieniając bc przez jego wartość ze wzoru (5′) oraz przekształcając, jak uprzednio, mamy

$$\frac{2P_0}{1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}} - \frac{0{,}033\, E_i\, R^2}{R_0^2} \leqslant 1{,}967\, E_i \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (30)$$



Rys. 3.

wzór (30) w połączeniu z równaniem (15′)

$$P_0 = \frac{E_i}{2}\left(1 - \frac{R^2}{R_1^2}\right) + 2{,}225\, E_i \log_{10}\frac{R}{R_0} + 0{,}0165\, E_i \left(\frac{R^2}{R_0^2} - 1\right) . \quad (15')$$

rozwiązuje zadanie: dla każdej grubości ścianki, określonej przez $\frac{R_1}{R_0}$, wzory te pozwalają określić $\frac{R}{R_0}$, następnie zaś *górną* granicę ciśnienia samowzmocnienia, odpowiadającą warunkowi $b'c \leqslant E_i$; np. dla $\frac{R_1}{R_0} = 3$, otrzymujemy

$$P_0 \leqslant 0{,}92\, E_i$$

czyli wartość mniejszą, niż w wypadku poprzednim; aby wszakże móc wyzyskać przy samowzmocnieniu cały okres półsprężysty trzeba, aby nowe odkształcenia trwałe przy powrocie do stanu spoczynku nie mogły zachodzić nawet po samowzmocnieniu przy ciśnieniu P_0 takiem, iż granica sprężystości zostaje osiągniętą w warstwie zewnętrznej rury, t. j. dla $R = R_1$; jeżeli podstawimy do równań (15′) i (30) $R = R_1$, to otrzymamy ponownie równanie (27), ograniczające grubość ścianki rury do

$$\frac{R_1}{R_0} \leqslant 2{,}27$$

Uwaga. Reasumując to, co było powiedziane odnośnie warunku $b'c \leqslant E_i$ w obydwóch okresach (p. 1b i 2b) widzimy, że w danym razie mogą wchodzić w grę jedynie rury stosunkowo cienkie, o grubości ścianki nie przekraczającej 0,635 kalibra

gdyż
$$\frac{R_1 - R_0}{2R_0} = \frac{2{,}27 - 1}{2} = 0{,}635$$

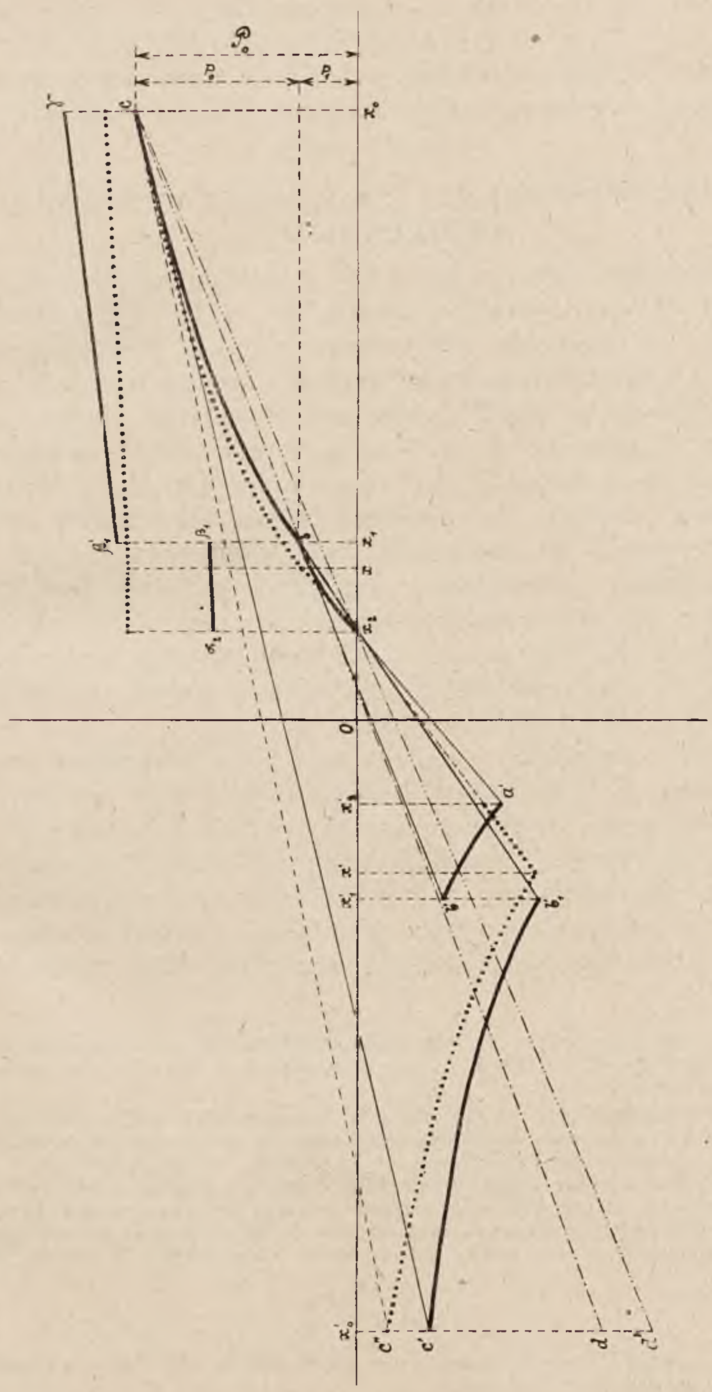
Przytaczamy dla orjentacji na rys. 3 wykres, dotyczący rury o tej granicznej grubości ścianki określonej przez

$$\frac{R_1}{R_0} = 2{,}27$$

na wykresie tym:

linje pełne ———— odpowiadają wykresom ciśnień, naprężeń ciągnących oraz nabytych granic sprężystości dla najwyższego dopuszczalnego ciśnienia samowzmocnienia $P_0 = 1{,}05\, E_i$ stosownie do wzoru (20), w którym $\mathfrak{R} \eqsim 1{,}6\, E_i$;

linje punktowane........ odpowiadają wykresom ciśnień, naprężeń ciągnących oraz nabytych granic sprężystości dla



Rys. 4.

ciśnienia samowzmocnienia w końcu okresu półsprężystego $P_0 = 0{,}863\, E_i$;

otrzymujemy w tych wypadkach w warstwie wewnętrznej w stanie spoczynku po samowzmocnieniu naprężenie styczne ściskające

$$b'c = b'_1 c_1 = E_i .$$

IV. ZASTOSOWANIE DO LUF SAMOWZMOCNIONYCH DWUBLOKOWYCH

Zastosowując wyłożony uprzednio sposób do konkretnego przykładu lufy 240 mm, omówionej na str. 178 — 183[15]) Nr. 6 Bibljoteki Przeglądu Artyleryjskiego. otrzymujemy wykresy przedstawione na rys. 4 i 5, przedstawiające linjami ciągłemi — stan ścianki lufy w *komorze nabojowej w chwili strzału pod najwyższem dopuszczalnem ciśnieniem* $\mathcal{P}_0$ przyczem P_1 jest mocą sprężystą rury zewnętrznej, zaś P_0 jest mocą sprężystą rury wewnętrznej, a zarazem ciśnieniem, które należy rozwinąć dla samowzmocnienia zespołu obu rur, t. j. rury wewnętrznej w zewnętrznej; linje kropkowane ..... na tych samych rysunkach przedstawiają przy strzale pod ciśnieniem "$\mathcal{P}_0$ stan ścianki fikcyjnej rury jednoblokowej samowzmocnionej[16]) mającej tę samą grubość ($R_0 = 157$ mm, $R_2 = 445$ mm) i tę samą moc sprężystą całkowitą $\mathcal{P}_0$ oraz zrobionej z tego samego metalu, co rura zewnętrzna ($E_i = 45$ kg/mm²), przyczem:

A) Rys. 4 odpowiada warjantowi *a* (rura zewnętrzna ze stali lanej, mającej $E_i = 28$ kg/mm²); dzięki rozdzieleniu obu rur, największe naprężenie styczne ściskające w stanie spoczynku w rurze wewnętrznej wynosi $c'd$ (w skali rzędnych około 33 kg/mm²) $< E_i$ (45 kg/mm² dla stali kutej, z której zrobiona jest rura wewnętrzna); unika się w ten sposób nowych odkształceń trwałych w czasie powrotu do stanu spoczynku (co jest zrozumiałe, gdyż mamy tu dla

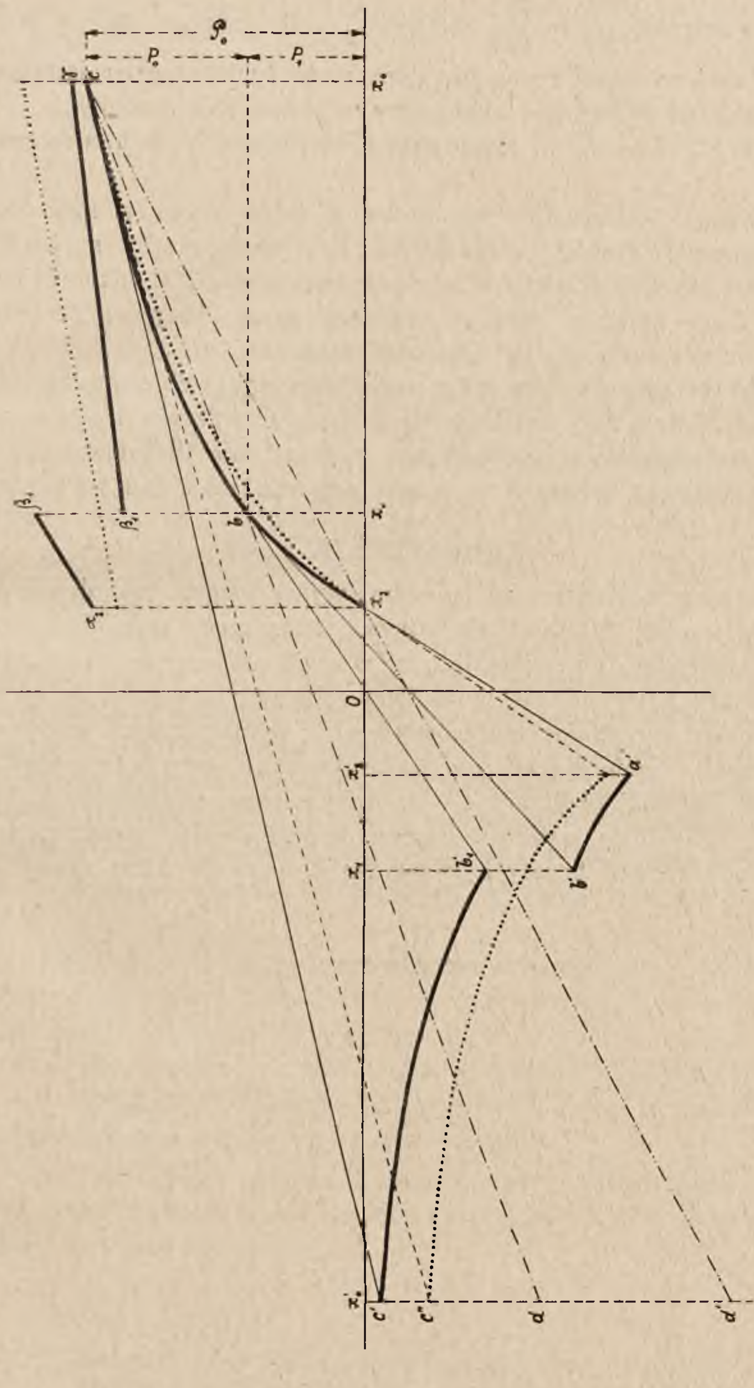
---

[15]) W warjancie *a* (rys. 4) wymieniona fikcyjna rura musiałaby być wzmocniona w okresie półsprężystym, — zaś w warjancie *b* (rys. 5) — w okresie zimnej obróbki całkowitej.

[16]) Otrzymalibyśmy tu wszakże ciśnienie samowzmocnienia P_0', odpowiadające promieniowi wewnętrznemu po pierwszej obróbce $R_0' = 135$ mm, nie 41,99 kg/mm², lecz trochę mniejsze (41,05 kg/mm²), a to dlatego, że strata na mocy sprężystej wynikająca z ostatecznego wytoczenia, obliczona według wzoru (43) Biblj. Przegl. Artyl. loc. cit. str. 157, daje wartość większą od rzeczywistej, gdyż przy całkowaniu została wyprowadzona za $\int$ wartość E', która nie jest w rzeczywistości stałą, lecz zmniejsza się w miarę posuwania się od promienia R_0' do R_0 według wzoru

$$E = a + \frac{bc}{R^2}$$

analogiczna uwaga dotyczy ciśnień samowzmocnienia dla rur zewnętrznych zarówno w warjancie *a*, jak i *b*.



Rys. 5.

rury wewnętrznej $\frac{R_1}{R_0} = \frac{293}{157} = 1,86 < 2,27$), podczas, gdy w wyżej wspomnianej odnośnej rurze fikcyjnej naprężenie styczne ściskające w warstwie wewnętrznej wyniosłoby $c''d'$ (w skali rzędnych około 52 kg/mm²) $> E_i$, co w myśl poprawki Malaval'a jest niedopuszczalne;

B) Rys. 5 odpowiada warjantowi *b* (obie rury ze stali kutej o początkowej granicy sprężystości $E_i = 45$ kg/mm²); największe naprężenie styczne ściskające w stanie spoczynku $c'd$ (około 33 kg/mm²) $< E_i$, — podczas gdy w odnośnej rurze fikcyjnej, to samo naprężenie wyniosłoby $c''d'$ (około 59 kg/mm²) $> E_i$.

Wykresy te pozwalają więc poglądowo zdać sobie sprawę z korzyści, które dają lufy dwublokowe z punktu widzenia drugiego warunku bezpieczeństwa, omówionego w rozdziale III (uniknięcie nowych odkształceń trwałych w czasie powrotu do stanu spoczynku).

ZAKOŃCZENIE.

Powyższe zastosowania sposobu wykreślnego, jakkolwiek nie ujawniają nowych faktów, dają jednak potwierdzenie wyników, otrzymanych uprzednio innemi metodami w teorji luf samowzmocnionych, i w niektórych wypadkach pozwalają osiągnąć te wyniki w sposób prostszy, niż uprzednio; nie mówiąc już o ogólnej zalecie sposobów wykreślnych, polegającej na uzmysłowieniu wyników obliczeń w sposób bardziej poglądowy, — w danym razie znajdujemy istotne korzyści, gdy idzie o łatwość zrozumienia zjawisk, związanych ze sprawą odkształceń trwałych w czasie powrotu do stanu spoczynku.

Kpt. pil. inż. WALICKI ALEKSANDER.

ZJAWISKA ZAOBSERWOWANE PODCZAS STRZELANIA NA PIERŚCIENIACH WIODĄCYCH POCISKÓW ARTYLERYJSKICH*)

Wobec tego, że przy rozwoju spółczesnej techniki artyleryjskiej i budowy sprzętu uzbrojenia spotykamy się bardzo często (szczególnie w ostatnich czasach) z różnemi brakami, które nierzadko powodują nawet nieszczęśliwe wypadki przy użyciu amunicji działowej, w artykule poniższym zamierzam rzucić nieco światła (na podstawie badań francuskich komisyj doświadczalnych) na zjawiska, towarzyszące przetłaczaniu pocisku przez lufę w chwili strzału, i wyprowadzić stąd pewne wnioski, co do sposobów zakładania pierścieni wiodących.

Zjawiska zaobserwowane podczas strzelania na pierścieniach wiodących pocisków, a którym towarzyszy anormalny wzrost rozrzutu, można sklasyfikować jak następuje:

I. Przekręcanie się pierścienia wiodącego na skorupie pocisku.

II. Wygładzenie pierścienia po wyjściu z lufy i niedostateczne wyciśnięcie śladów gwintów na pierścieniach.

III. Pierścienie o niejednorodnej wyrazistości odcisku śladów gwintu lufy oraz nieregularnie odkształcane, przyczem tworzy się koronka z tyłu pierścienia.

---

*) Na zasadzie źródeł:
Comptes-rendus de la Commission d'expériences de Calais.
Etude sur le ceinturage des obus — A. M. Portevin et M. Garvin.

I. Przekręcenie się pierścienia.

Najczęściej spotykamy zjawisko przekręcania się pierścienia na skorupie pocisku; skonstatować je możemy zapomocą bądź to znaków, wybitych na powierzchni pierścienia i pocisku, bądź to po sprawdzeniu powierzchni wewnętrznej pierścienia (po jego zdjęciu z pocisku).

Pierwszy sposób polega na wybiciu kilku znaków (kresek lub kropek) na powierzchni pierścienia i pocisku; znaki powinny się znajdować na linji prostej. Po przejściu pocisku przez lufę część znaków zostaje starta przez gwint lufy, część zaś pozostaje i pozwala na określenie wartości, na jaką przekręcił się pierścień w stosunku do pocisku.

Komisja doświadczalna w Calais dokonała szeregu doświadczeń, mających na celu uwidocznienie powierzchownego przesuwania się (ślizgania) metalu pierścienia, w stosunku do samego pierścienia, które daje pozory ruchu obrotowego pierścienia dookoła osi pocisku.

W tym celu przewiercano nawylot w pierścieniu kilka otworów, sięgających na głębokość 2 mm w głąb metalu pocisku; otwory te zakorkowywano następnie zapomocą kołeczków z ołowiu lub mosiądzu. Odległość pomiędzy kołeczkami pierścienia a otworami na powierzchni pocisku (pod pierścieniem) uwidaczniała przekręcanie się pierścienia. Doświadczenia te jednakowoż nie wykazały, przekręcania się całego pierścienia, wykazały natomiast powierzchowne ślizganie się cząsteczek metalu pierścienia, którego wartość wynosiła do 2 mm. Na skutek tych doświadczeń komisja wyciągnęła następujące wnioski: „W przekroju prostopadłym do osi podłużnej pocisku metal pierścienia podlega stałemu odkształceniu, dzięki sile przeciwdziałania tego boku brózdy, o który pierścień opiera się przy przetłaczaniu pocisku przez lufę; odkształcenie to powoduje ślizganie się cząsteczek metalu, które na powierzchni zewnętrznej pierścienia może osiągać 2 do 3 mm. Wobec powyższego, niedokładność pomiarów przekręcania się pierścienia w jego rowku na skorupie, dokonywanych zapomocą znaków wybitych na powierzchniach pierścienia i pocisku, wynosi od 2 do 3 mm".

Z powyższych powodów nie należałoby brać pod uwagę przekręcenia się pierścienia równego lub mniejszego od 3 mm.

Skądinąd badania powierzchni wewnętrznej pierścienia wykazały, że przy przekręceniu się pierścienia — zachodzi wyraźne ścinanie i przesuwanie tego metalu, który przy zakładaniu pierścienia zo-

stał wtłoczony w odpowiednie żłobki, znajdujące się w rowku pierścienia, a otrzymane po przemoletowaniu dna tego rowka.

Doświadczenia przeprowadzone w Orléans-Cercottes z pociskami 155 mm wykazały, że wartości przesuwania się pierścieni na skorupie pocisków były w granicach od 13 do 8 mm; rowki pierścieniowe były zaopatrzone w wytłaczane przez moletowanie żłobki; wypełniający je metal został ścięty u podstawy i przesunięty względem pierścienia; wyciśnięcie gwintów lufy na pierścieniach było normalne.

W tem, co dotyczy skutków przekręcania się pierścienia, stwierdzono przy strzelaniu, że przekręceniu się pierścienia często towarzyszą anomalje w donośności; zarazem stwierdzono, że niema stałego związku pomiędzy wielkością przekręcenia się pierścienia, a odnośną zmianą w donośności, która czasami bywa bardzo mała, a czasami, osiąga setki metrów, chociaż pierścień wogóle się nie poruszył. Komisja odbiorcza materjałów uzbrojenia w Orléans stwierdziła, że na 56 wystrzałów, którym towarzyszyło przekręcenie się pierścienia, 24 były zupełnie normalne pod względem donośności, natomiast 32 wykazały anomalje ponad 200 metrów.

Ze spostrzeżeń, zanotowanych przez francuskie komisje odbiorcze, wynika, że bardzo ważną rolę odgrywa sposób zamocowania (unieruchomienia) pierścienia w jego rowku. Z wielu proponowanych we Francji sposobów tylko dwa zostały przyjęte oficjalnie:

1) *Wytłaczanie figur na dnie rowka.* W rowku pierścienia prostopadle do osi pocisku, znajduje się jeden lub kilka trójkątnych występów (nitek), idących wzdłuż obwodu rowka i przerywanych w kilku miejscach.

2) *Moletowanie skośne.* Dno rowka dla pierścienia posiada na całym obwodzie pewną ilość żłobków moletowanych, pochylonych o 20^0, w stosunku do osi pocisku.

Z doświadczeń przeprowadzonych przez różne komisje wynika, że bez względu na sposób zamocowania (unieruchomienia) pierścienia, nawet w tym wypadku, gdy dno rowka jest zupełnie gładkie, można otrzymać dobre wyniki, t. j. uniknąć przekręcania się pierścienia; wystarczy w tym celu, aby założenie (obciśnięcie) pierścienia było wykonane w sposób właściwy.

Stąd wnioskujemy, że nawet dodatnie wyniki prób, przeprowadzonych na nielicznej ilości pocisków z danym sposobem zamocowania pierścieni, nie mogą być uważane za miarodajne, — tembardziej, że pociski przeznaczone do prób są zawsze wykonywane ze szczególną starannością.

Stwierdzono również przy jednej i tej samej fabrykacji, że — gdy dno rowka dla pierścienia było gładkie, — przekręcanie się tego ostatniego wynosiło od 100 do 130 mm; gdy zaś na dnie rowka pozostawiano gruby wiór — przekręcanie się wynosiło tylko 10 — 25 mm i znikało zupełnie przy zastosowaniu moletowania dna rowka, zapomocą nacięć idących wzdłuż tworzącej pocisku.

Dowodzi to, iż ulepszenie sposobów zamocowania pierścienia, zabezpiecza go od przekręcania się na skorupie pocisku.

Z drugiej strony stwierdzono przekręcanie się pierścieni, zamocowanych zapomocą następujących sposobów:

dno rowka dla pierścienia	gładkie
„ „ „	zaopatrzone w skośne żłobki moletowane
„ „ „	zaopatrzone w karby boczne
„ „ „	„ w żłobki, wykonane zapomocą przecinaka,
„ „ „	zaopatrzone w wytłaczane figury (nitki)

A zatem żaden sposób zamocowania nie daje pewności, jeżeli samo założenie (obciśnięcie) pierścienia jest wykonane w sposób niewłaściwy; dotyczy to szczególnie sposobu, przy którym stosuje się wytłaczanie figur na dnie rowka. Stosowanie sposobu moletowania skośnego, daje pewien stopień gwarancji bezpieczeństwa, gdyż przy tym sposobie nie zanotowano ani jednego wypadku przekręcenia się pierścienia, chociaż ilość wystrzelonych pocisków, była bardzo znaczna. Jednakowoż nie można stąd wnioskować o jego bezwzględnej pewności, gdyż mogło się zdarzyć, że obciśnięcie odnośnych pierścieni było wykonane w sposób właściwy.

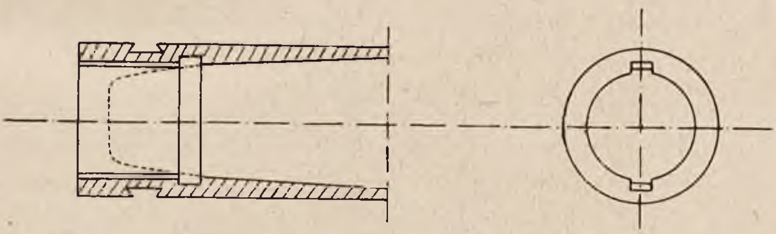
Z powyższego wynika konieczność przeprowadzenia pomiarów w ściśle określonych warunkach, któreby dostarczyły danych liczbowych, mogących służyć jako dane porównawcze.

Zasada doświadczeń.

Badania doświadczalne, dotyczące przekręcania się pierścieni, są zbyt złożone, by można je było przeprowadzić systematycznie na poligonie, nie mówiąc już o tem, że wykonanie pomiarów w tych warunkach jest utrudnione, zaś dokładność ich jest wątpliwa, — zbyt wielkie skomplikowanie zjawisk, towarzyszących strzelaniu, nie daje możności dokładnego określenia wartości zmiennych, charakteryzujących każdą poszczególną próbę. Skądinąd jest rzeczą niemożliwą

odtworzyć w laboratorjum siły tak zmienne, jak te, które działają na pierścień w chwili wystrzału. Natomiast łatwem jest zastosować do pierścienia parę sił stopniowo rosnącą, jak również określić jej wartość, w chwili przekręcania się pierścienia. Przy dokonywaniu doświadczeń, jest rzeczą bardzo ważną, ażeby się możliwie najbardziej zbliżyć do warunków strzelania, w tem co dotyczy samej pracy metalu pierścienia. Ten ostatni przy przejściu przez stożek przejściowy, zostaje ponownie obciśnięty i to w bardzo dużym stopniu; oprócz tego przez cały czas przebiegu pocisku w lufie, ścianki tej ostatniej nie przestają działać na pierścień.

Dla przeprowadzenia doświadczeń zastosowano pusty walec, nagwintowany wewnętrznie podobnie jak lufa działa; walec posiadał ponadto stożek, odpowiadający stożkowi przejściowemu lufy. Zapomocą odpowiedniego urządzenia cylinder ten dawał możność otrzymać parę sił, dążącą do nadania pociskowi ruchu obrotowego. Ponieważ wielkość pary sił jest znana, można łatwo określić jej maksimum

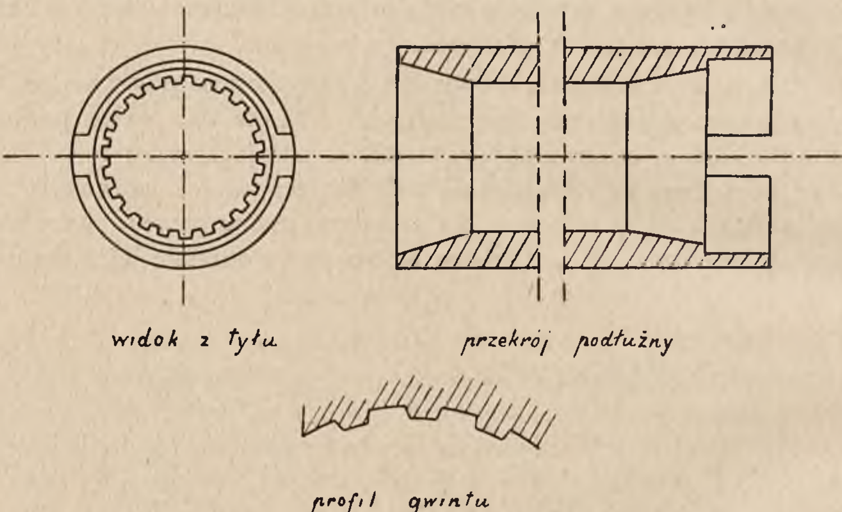


Rys. 1.

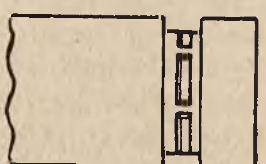
przedtem, aniżeli ujawni się stała szybkość kątowa badanych części.

Maszyna Buckton'a (w laboratorjum Conservatoire des arts et métiers w Paryżu) posiada przyrząd do tego rodzaju prób. Na jednej i tej samej osi znajdują się dwie głowice, zaopatrzone w uchwyty; jedna z nich jest połączona z ramieniem, na którem można przesuwać ciężar, druga — z kołem ślimakowem. Zapomocą tego ostatniego można zastosować działanie pary sił na części zamocowane pomiędzy głowicami. Para sił jest zrównoważona zapomocą przesuwanego wzdłuż ramienia dźwigni ciężaru. Pocisk, którego tylna część jest urządzona, jak wskazuje rys. 1, wtłacza się zapomocą prasy hydraulicznej Amsler-Laffon'a do walca 155 mm (rys. 2). Całość zamocowuje się na maszynie Buckton'a: walec—do głowicy zamocowanej na kole ślimakowem, pocisk—do głowicy, połączonej z ramieniem. Przeprowadzono odnośne doświadczenia na pociskach o trojakim sposobie

zamocowania pierścienia: jeden pocisk posiadał dno rowka dla pierścienia zupełnie gładkie, (oznaczony literą L); — rowek drugiego był zaopatrzony w moletowane żłobki skośne (litera M); wreszcie na dnie rowka trzeciego pocisku była wytłoczona figura w postaci trójkątnej, w 6-ciu miejscach przerwanej nitki (litera C) rys. 3. Miedziane paski, przeznaczone do opierścienienia, były specjalnie przygotowane i posiadały następujące cechy wytrzymałościowe:



Rys. 2.



Rys. 3.

Wytrzymałość na rozerwanie $R = 23{,}8$ kg mm^2.
Wydłużalność $A = 48\%$.
Przyczem zwrócono specjalną uwagę na jednolitość wyżarzenia.
Jako cel doświadczeń wytknięto:

1) dokonanie pomiarów przylegania pierścieni do różnych typów dna rowka,
2) wykazanie wpływu zmniejszenia średnicy zewnętrznej pierścienia na jego przyleganie do dna rowka.

Poniższa tabela podaje wyniki odnośnych doświadczeń:

Pocisk I	Średnica zewnętrzna pierścienia mm II	Siła wtłaczania tonny III	Para sił tonny/metry IV	Uwagi
[1]) Przyleganie pierścieni do różnych typów dna rowka				
L	157,59	39,6	3,08	
M	157,56	"	4,70	
C	157,58	28,8	2,59	
[2]) Wpływ średnicy zewnętrznej pierścienia				
L	157,59	39,6	3,08	
	156,65	20,2	2,12	
	156,20	16,3	1,91	
M	157,56	"	4,70	
	156,67	20,6	3,23	
	156,06	14,1	3,48	

W rubryce II podana jest średnia wartość dwóch wzajemnie prostopadłych średnic; rubryka III podaje maksimum siły potrzebnej dla wtłoczenia pocisku do przyrządu; rubryka IV podaje wartość pary sił, przy której następuje przekręcenie się pierścienia.

Pierwsza część tabeli wykazuje, iż przy zastosowaniu moletowania skośnego uzyskuje się duży wzrost stopnia bezpieczeństwa, przeciw możliwości przekręcania się pierścienia. Z tabeli wynika również, że sposób zamocowania pierścienia zapomocą wytłaczania na dnie rowka figur, jest, z punktu widzenia przylegania, zupełnie niewystarczający.

Druga część tabeli wykazuje, że nawet przy zmniejszonej sile wtłaczania, sposób moletowania skośnego daje znaczne przyleganie.

Warunki, jakim powinien odpowiadać sposób zamocowania pierścienia w jego rowku (czyli środki, mające na celu unieruchomienie pierścienia w rowku).

Zamocowanie pierścienia w jego rowku, wykonane w sposób właściwy, powinno odpowiadać następującym warunkom:

1) ułatwiać założenie (obciśnięcie) pierścienia,
2) zapewniać unieruchomienia pierścienia,
3) zwiększać jego przyleganie do dna rowka.

Przyjęte we Francji sposoby zamocowania pierścieni można pod tym względem określić następująco:

1) wytłaczanie figur (nitek) na dnie rowka zapewnia unieruchomienie pierścienia, lecz zmniejsza jego przyleganie i utrudnia obciśnięcie pierścienia; ponadto obróbka mechaniczna jest utrudniona;

2) moletowanie skośne zapewnia unieruchomienie pierścienia, w dużym stopniu zwiększa jego przyleganie, nie utrudnia założenia pierścienia, jest pewniejsze i nie wymaga tak trudnej obróbki.

Wszystkie inne sposoby zamocowania jak: rowki równoległe do osi pocisku, karby, sinusoidy, nacięcia śrubowe i t. p., nie posiadają zalet moletowania skośnego lub dorównują mu, lecz są trudniejsze do wykonania.

Opierając się na wynikach strzelania i doświadczeń, można wyciągnąć następujące wnioski:

1) dla dużych kalibrów (do 220 włącznie) przekręcanie się pierścienia zachodzi wskutek wadliwego założenia (obciśnięcia);

2) dla uniknięcia ewentualnych wad przy założeniu pierścienia należy stosować odpowiedni sposób zamocowania;

3) moletowanie skośne daje potrzebną gwarancję bezpieczeństwa; przy zastosowaniu tego sposobu zamocowania, przekręcanie się pierścienia jest możliwe tylko wskutek niedbałego założenia pierścienia.

II. Wygładzenie zewnętrzne pierścieni po przejściu przez lufę i niedostateczne wyciśnięcie śladów gwintów na pierścieniach.

Zauważono, że niektóre pociski, którym po wystrzale towarzyszy charakterystyczny dźwięk rytmiczny, dają donośność zmniejszoną o setki metrów, a nawet więcej. Po wystrzale pierścienie tych pocisków zamiast posiadać wyraźne odbicie gwintów lufy, są prawie zupełnie gładkie. Mniejsza donośność, jak również charakterystyczny dźwięk po wystrzale, zdają się pochodzić od tego, że pocisk nie otrzymał dostatecznej szybkości obrotowej. Jeżeli lufa jest zimna, mało zużyta i nie jest zamiedzona, powyższe zjawisko zdarza się bardzo rzadko, może jednak mieć miejsce, jeżeli działo się zagrzewa, zużywa i zamiedza się, — przyczem zauważono że wygładzenie pierścieni powstaje na pociskach, pochodzących z jednych i tych samych fabryk.

Zjawiska powyższe zostały stwierdzone przy pociskach 75 i 105

mm, dla których szybkość początkowa przekracza 500 m/s (strzelanie ze zwiększonym ładunkiem przy próbach odbiorczych).

Przypuszczalne przyczyny.

Przypuszczalne a priori przyczyny zjawiska są następujące:
1) Wadliwe wypełnienie rowka na skorupie;
2) Zewnętrzna średnica pierścienia za mała;
3) Niedostateczny zgniot miedzi;
4) Niedokładność założenia pierścienia;
5) Zużycie się lufy.

Wadliwe wypełnienie rowka na skorupie

Jedną z przyczyn, których wpływ jest przeważający, polega na tem, że pozostaje pewien luz pomiędzy pierścieniami, a dnem rowka; wada ta powoduje prawie nieuchronnie nienormalne zmniejszenie donośności; po zdjęciu pierścienia i wyważeniu okazuje się, że jego ciężar jest zawsze za mały.

Średnica zewnętrzna pierścienia za mała.

Wadę tę należy przypisać nieprzestrzeganiu tolerancyj i niedbalstwu kontroli. Zaznaczyć przytem należy, że niektóre sposoby fabrykacji powodują owalizację pierścienia, zmniejszając przytem jego ciężar, — co nie powinnoby również ujść uwadze kontroli, zarówno co do wymiarów średnicy rowka i pierścienia w szczególności, jak również i średnicy zgrubienia (środkującego), to ostatnie ma wielkie znaczenie dla prowadzenia pocisku w lufie i uniknięcia uderzeń.

Rola, jaką odgrywa stopień zgniotu miedzi, dokładność założenia pierścienia i zużycie lufy.

Dokonano szeregu doświadczeń celem zbadania następujących czynników:

a) badanie metalu pierścieni o różnych stopniach wygładzenia;

b) badanie pocisków zaopatrzonych w pierścienie, o różnym stopniu wyżarzenia i różnych sposobach założenia;

c) badanie warunków, w których powstaje wygładzenie.

Badania wskazane w punkcie a) miały na celu porównanie pierścieni pocisków 75 mm, na których odcisk gwintu lufy był zupełnie wyraźny, z temi, na których odcisk ten był całkowicie starty (pierścień wygładzony). Metal pierścieni poddawano próbom mechanicznym i

badaniu mikrograficznemu. (Tu należy zauważyć, że badanie zgniotu miedzi zapomocą kulki Brinell'a, daje wyniki zupełnie złudne); stwierdzono, że w żadnym wypadku metal pierścieni wygładzonych nie był zgnieciony w mniejszym stopniu, aniżeli metal pierścieni, na których odcisk gwintu był wyraźny; niektóre przykłady wykazały nawet, że metal tych ostatnich, był zgnieciony w większym stopniu. Ażeby przekonać się, iż jest tak w istocie, poddano próbom mikrograficznym pierścienie pocisków 105 mm, o różnym odcisku gwintu, poczynając od zupełnie wyraźnego aż do całkowicie startego. Badania te wykazały, że w głębi metalu niema znacznej różnicy w stanie zgniotu, natomiast powierzchnia zewnętrzna częściowo wygładzonego pierścienia posiada pasma o wyraźnym zgniocie, podczas, gdy w pierścieni miedzianych (nie pasków), to:
tych samych miejscach. Wynika z tego, że znaczny zgniot nie sprzyja dobremu odciśnięciu się gwintów lufy na pierścieniu. Należy zauważyć przytem, że zgniot zaobserwowany na pierścieniach, częściowo startych (wygładzonych), jest spowodowany działaniem mechanicznem gwintów lufy na metal pierścienia.

Przy badaniu pocisków, zaopatrzonych w pierścienie o różnym stopniu wyżarzenia, wychodzono więc z założenia, że wygładzanie pierścienia nie jest spowodowane tem, że metal jego nie jest dostatecznie zgnieciony. Poczyniono starania, ażeby odtworzyć zjawisko wygładzenia pierścienia, poddając próbom pociski, pierścienie których, dzięki sposobom zakładania, posiadały różne stopnie zgniotu; innemi słowy, postanowiono sprawdzić wyniki otrzymane analitycznie, urzeczywistniając syntezę zjawiska.

Jeżeli opaskowanie pocisków jest uskutecznione zapomocą pierścieni miedzianych (nie pasków), to:

— po nałożeniu, tylko powierzchnia metalu jest zgnieciona;
— zgniot jest spotęgowany tylko w tym wypadku, gdy nakładanie uskutecznia się zapomocą przetłaczania przez pierścień;
— cienka warstwa zgnieciona, powstająca przy zakładaniu zapomocą prasy hydraulicznej, usuwa się przy późniejszem obtaczaniu.

Próbom poddano serję pocisków 75 mm; założenie pierścieni uskuteczniono zapomocą następujących sposobów, powodujących znaczne różnice zgniotu:

założenie pierścienia zapomocą przetłaczania przez formę (pierścień),
„ „ „ „ prasy hydraulicznej.

Ażeby całkowicie upewnić się, że ewentualny zgniot, powstały wskutek założenia pierścienia zapomocą prasy hydraulicznej jest usunięty, pewną ilość pocisków wyżarzono przy temperaturze 550°; oprócz tego celowo zmieniono średnicę pierścienia, która przekroczyła granice tolerancji od 0,03 do 0,05 mm.

Serja pocisków odpowiadała poniższej tabeli:

Ilość pocisków	Sposób nałożenia pierścienia	Temperatura wyżarzenia	Średnica pierścienia po obtoczeniu
6	prasa hydrauliczna	550°	maks.
6	" "	"	min.
6	" "	bez wyżarz.	maks.
6	" "	" "	min.
6	przetłaczanie przez	" "	maks.
6	formę (pierścień)	" "	min.

Wszystkie pierścienie były wykonane z tej samej rury; nałożenie uskuteczniono z wyjątkową starannością. Po nałożeniu poddano pierścienie próbom dźwiękowym przez stukanie młotkiem, celem ujawnienia próżni i złego przylegania do dna rowka; oprócz tego, sprawdzano (zdejmując pierścień z jednego pocisku każdej serji) stopień odcisku moletowania w metalu pierścienia. Przy badaniu dźwiękowem zauważono, że wyżarzenie przy temperaturze 550° naruszyło dobre przyleganie pierścienia do dna rowka; dla pierścieni wyżarzonych istnieje więc dodatkowa przyczyna wadliwego zachowania się pierścienia podczas strzelania. Wyniki strzelania są uwidocznione w tabeli na str. 662.

Do strzelania użyto działa w bardzo dobrym stanie, z którego poprzednio oddano 2461 strzałów, a bezpośrednio przed próbą 60, a to w celu ogrzania lufy.

Jak wynika z tabeli, strzelanie było dość regularne — bez wielkiej różnicy w donośności, jak również i w wyglądzie pierścieni. Jedynie pociski drugiej serji (9 — 14) wyróżniły się mniejszą donośnością i mniej wyraźnym odciskiem gwintów na pierścieniach; wynik ten tłumaczy się poprzednio zaznaczonem wadliwem przyleganiem pierścienia do dna rowka, jak również i tem, że średnica jego była nieco mniejsza od wymaganego minimum.

Sposób założenia pierścienia	Średnica pierścienia po obtoczeniu	Numer pocisku	Donośność w metrach
zapomocą prasy hydraulicznej wyżarzenie przy temp. 550°	maksimum	1	5 760
		2	5 775
		3	5 790
		4	5 775
		6	5 790
		7	5 775
	minimum	9	5 745
		10	5 790
		11	5 745
		12	5 700
		13	5 775
		14	5 715
idem bez wyżarzenia	maksimum	17	5 820
		18	5 790
		19	5 805
		20	5 760
		21	5 805
		22	5 800
	minimum	25	5 775
		26	5 775
		27	5 790
		28	5 745
		29	5 745
		30	5 780
zapomocą przetłaczania przez formę (pierścień) bez wyżarzenia	maksimum	33	5 820
		34	5 805
		35	5 760
		36	5 790
		37	5 820
		38	5 760
	minimum	41	5 805
		42	5 775
		43	5 760
		44	5 790
		45	5 820
		46	5 805

Z powyższego można wywnioskować, że pierścienie, — o ile działo jest w dobrym stanie i rozgrzane, — zachowują się jednakowo, bez względu na stopień zgniotu i, że w praktyce ten ostatni, nie wpływa na wyrazistość odciśnięcia się gwintu lufy na pierścieniu. Należy również wyświetlić, jaką rolę odgrywa przyleganie pierścienia do dna rowka, a to z punktu widzenia odciśnięcia się gwintów lufy na pierścieniu. Przyleganie zależy od wypełnienia rowka przez metal pierścienia podczas zakładania; należy wszakże zauważyć, że ścisły związek pomiędzy dnem rowka a pierścieniem może być naruszony i później, szczególnie w wypadku, gdy pierścień był wykonany z pasków miedzi.

Otrzymanie w praktyce ściśle określonego wadliwego przylegania jest niemożliwe. Dla przeprowadzenia prób zastosowano pociski o wadliwem przyleganiu pierścienia, zastosowując dla założenia pierścienia dwa różne ciśnienia: pierwsze powodowało bardzo wyraźny odcisk moletowania na wewnętrznej powierzchni pierścienia, drugi— odcisk wyraźnie niedostateczny. Oprócz tego użyto pierścieni o średnicach maksimalnej i minimalnej.

Serja pocisków odpowiadała następującej tabeli:

Ilość pocisków 75 mm	Ciśnienie	Średnica zewnętrzna pierścienia
6	normalne	maks.
6	„	min.
6	bardzo małe	maks.
6	„	min.

Strzelanie przeprowadzono z działa zużytego i poprzednio rozgrzanego; odnośne wyniki podaje tabela str. 664.

Pewnej ilości pocisków nie odnaleziono z powodu bardzo małej donośności; wszystkie odnalezione pociski posiadały pierścienie zupełnie wygładzone. Pociski, których pierścienie były nałożone przy małem ciśnieniu i posiadały średnicę minimum, dały wszystkie anormalną donośność, zaś 4 na 6 były wogóle bardzo krótkie; na 6 pocisków, których pierścienie były założone przy małem ciśnieniu i które posiadały średnicę maksimum, 3 dały anormalną donośność, zaś jeden był bardzo krótki.

Możemy stąd wywnioskować, że o ile wygładzenie pierścieni zależy w dużym stopniu od zużycia działa i jego temperatury, o tyle

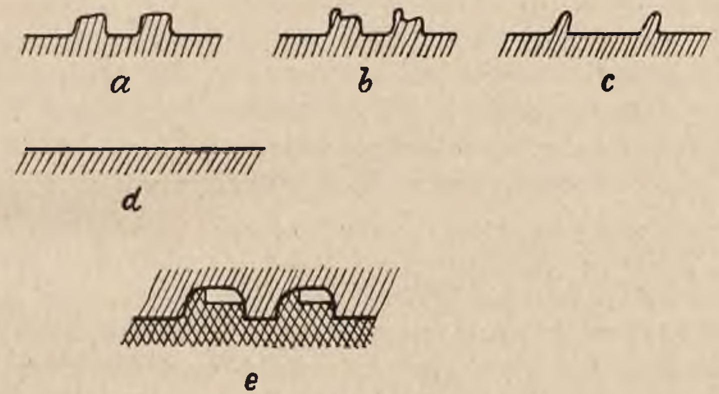
Ciśnienia na każdy sektor	Średnica zewnętrzna pierścienia po obtoczeniu	Numer pocisku	Donośność w metrach
	mm	1	długi nie odnaleziony
		2	5 805
		3	5 735
	76,6	4	5 805
		5	5 860
		6	5 835
350 kg			
		7	**5 696**
		8	5 790
	76,3	9	**5 590**
		10	5 850
		11	5 775
		12	5 865
		13	**krótki, nie odnaleziony**
		14	5 745
		15	**5 675**
	76,6	16	**5 730**
		17	5 885
		18	5 865
150 kg			
		19	**krótki, nie odnaleziony**
		20	"
		21	"
	76,3	22	**5 580**
		23	krótki, nie odnaleziony
		24	**5 570**

na anomalję w donośności wpływa w znacznej mierze dokładność nałożenia pierścienia i wymiar jego średnicy zewnętrznej.

Kolejne etapy *„wygładzenia pierścienia“* po wystrzale uwidocznia schematycznie rys. 4.

Przedewszystkiem powstaje przesunięcie metalu przylegającego do pola gwintu lufy (*b* i *e*); następnie pozostaje tylko ten przesunięty metal (*c*) i, wreszcie, wszelka nierówność na powierzchni pierścienia znika.

Wygładzenie zostaje poprzedzone przez przesunięcie metalu, które może nastąpić tylko wtedy, gdy pomiędzy zewnętrzną średnicą pierścienia a średnicą brózdy w lufie istnieje luz; w przeciwnym razie metal, zepchnięty przez pola gwintu nie miałby wolnego miejsca dla upływu, a wskutek tego samo przesunięcie byłoby wogóle niemożliwe. Jak z tego wynika, zagadnienie sprowadza się do objętości metalu pierścienia i szpar pozostawionych między nim a dnem brózd. Usunięcie metalu pierścienia, znajdującego się pomiędzy dwoma polami, odbywa się nie przez zwykłe ścięcie, lecz przez przesunięcie miedzi pod wpływem nacisku bocznej ścianki pola (rys. 4e).



Rys. 4.

Powyższe zjawisko może nastąpić w wypadkach:

— gdy lufa jest zużyta, wysokość gwintu jest mniejsza; wskutek tego ilość zepchniętego metalu też jest mniejsza; z drugiej strony ponieważ działo jest zużyte, średnica wewnętrzna (według brózd) jest zwiększona, a tem samem jest zwiększona i objętość przeznaczona dla pomieszczenia wypchniętego metalu; obydwie przyczyny działają w tym samym kierunku i ułatwiają wygładzanie;

— gdy średnica zewnętrzna pierścienia jest zmniejszona, wszystko się odbywa jak wyżej;

— gdy istnieje luz pomiędzy pierścieniem a dnem rowka, to w tym wypadku przy wystrzale pierścień zostaje wtłoczony do rowka i wszystko odbywa się tak, jak gdyby średnica pierścienia była zmniejszona.

Można więc wnioskować, że przy wygładzeniu pierścienia rolę przeważającą odgrywa zużycie działa; następnie wpływa luz, który

może istnieć pomiędzy pierścieniami i dnem rowka; podobną rolę odgrywa zmniejszenie średnicy pierścienia.

W żadnym razie „wygładzenia" nie należy przypisywać wadliwemu zgniotowi.

III. Nieregularne odkształcenia oraz tworzenie się nieregularnej koronki u spodu pierścienia.

Na niektórych pierścieniach skonstatowano tworzenie się nieregularnej koronki wzdłuż obwodu pierścienia. Zjawisko to prawdopodobnie wynika z tego, iż pierścienie nie są współśrodkowe z pociskami; metal pierścienia zostaje poszarpany w ząbki i tworzy ztyłu jakby koronkę. Przy użyciu pocisków 120—155 mm zjawisko powyższe może zachodzić również wskutek braku odpowiedniego stożka przejściowego z przodu pierścienia; w tym wypadku działanie gwintów od samego początku jest za bardzo gwałtowne.

Skonstatowano również, że przy tworzeniu się nieregularnej koronki — średnica tyłu pocisku jest zazwyczaj większa od przepisowej, co powoduje szczególnie ujemny skutek dla wyżej wymienionych kalibrów, gdyż nie posiadają one pierścieni ze stożkiem przejściowym. Jednocześnie z tem zjawiskiem zanotowano powstanie dużego rozrzutu. Badanie mimośrodowości jest bardzo utrudnione ze względu na to, iż niema do tego celu odpowiednich przyrządów, a tabele konstrukcyjne nie przewidują tolerancji.

Kontrola wojskowa powinna zwrócić baczną uwagę, aby następujące wymiary ściśle odpowiadały przepisowej tolerancji: średnica zgrubienia środkującego, średnica rowka dla pierścienia, jak również samego pierścienia i, wreszcie, dla pocisków nie posiadających wtoku zaciskowego ztyłu pierścienia — wymiar średnicy (tyłu) pocisku (jej maksimum). Ponieważ skądinąd zachowanie współśrodkowości wszystkich elementów konstrukcyjnych pocisku jest szczególnie ważne, należy zwrócić baczną uwagę, aby założenie pierścienia i jego obróbka były wykonane bardzo dokładnie. Tytułem wskazówki można przyjąć, że mimośrodowość osi pierścienia i rowka pierścieniowego w stosunku do osi pocisku nie powinna przekraczać 0,2 mm.

Tworzeniu się wspomnianej koronki towarzyszy, jak to stwierdzono, nieregularność ciśnienia podczas strzału; nieregularność ta może pochodzić w szczególności stąd, iż w wielkości siły, potrzebnej dla wtłoczenia pocisku, zachodzą odchylenia.

Przedsięwzięto szereg prób, mających na celu uwidocznienie tych zmiennych sił, jakie są potrzebne dla wtłaczania pocisku, zaopatrzonego w pierścień wiodący, do przewodu lufy — w zależności od sposobów zakładania pierścieni i napotykanych wad.

Praktyczne wykonanie polegało na mierzeniu zapomocą przyrządu hydraulicznego Amsler-Laffon'a siły potrzebnej do wtłoczenia pocisku w lufę walca-działa. Notowanie siły w zależności od przebytej przez pocisk drogi pozwala określić jej maksymalną wartość, przy której następuje całkowite odkształcenie metalu pierścienia podczas wtłaczania statycznego. Do przeprowadzenia prób użyto pocisków zgóry uznanych za złe. O ile wypełnienie rowka jest dokładne, to siła wtłaczania zależy, dla danej lufy, od ilości metalu stanowiącego nadwyżkę w stosunku do przekroju przewodu lufy (czyli zależy od średnicy zewnętrznej i wysokości pierścienia) i od wolnej pierścieniowej przestrzeni, tworzącej się poza pierścieniem pomiędzy skorupą i wewnętrzną powierzchnią przestrzeni, w której ma się mieścić nadwyżka miedzi.

Jeżeli odrzucimy skutki wadliwego nałożenia pierścienia, to siła wtłaczania będzie zależała od następujących 3-ch czynników:

1) średnicy pierścienia,

2) szerokości pierścienia,

3) średnicy tyłu pocisku, tuż poza pierścieniem.

Przedewszystkiem należy określić wpływ każdego z tych czynników oddzielnie i przekonać się, jaką rolę odgrywa każdy z wyszczególnionych wymiarów, ażeby później mieć podstawę do wprowadzenia odpowiedniej poprawki przy próbach, mających na celu uwidocznienie wpływu, jaki wywierają na wartość siły wtłaczania różne sposoby zakładania pierścieni. Próby te powinny być wykonane na pociskach różnych seryj, dla których, oczywiście, wyżej wymienione wymiary są zmienne, pozostając, jednakowoż, w granicach tolerancyj.

Pierwsza serja prób została wykonana na pociskach opierścienionych w identyczny sposób, gwarantujący dokładne wypełnienie rowka. Dla uwidocznienia wpływu, jaki wywiera na siłę wtłaczania zmiana wymienionych wymiarów, przygotowano pociski, zmieniając jednocześnie tylko jeden wymiar i to w granicach przekraczających tolerancje, a to w celu uwypuklenia skutków. Przyjmując, że siły są proporcjonalne do zmiany wymiarów, łatwo jest uwzględnić poprawki, dotyczące tej zmiany w granicach tolerancyj.

Wyniki prób są umieszczone w poniższych tabelach.

1) *Wpływ średnicy pierścienia:*

średnica	siła wtłaczania maks.
157,84 mm.	47,5 tonn
157,64 „	47,3 „
157,48 „	46,8 „
157,24 „	45,8 „

Jak widzimy, siła wzrosła ze zwiększeniem średnicy. Dla odchylenia w średnicy o 0,2 mm, odpowiadającego tolerancji, zmiana wartości siły wtłaczania wynosi 0,6 tonny, którą to wartość można odrzucić wobec całkowitej wartości tej siły.

2) *Wpływ szerokości pierścienia:*

szerokość	siła wtłaczania maks.
14,0 mm.	62,1 tonn
11,6 „	37,3 „

Gdy szerokość pierścienia zmienia się w granicach tolerancji, t. j. od 11,9 mm do 12,3 mm, zmiana wartości siły wtłaczania wynosi 4 tonny.

3) *Wpływ średnicy (tyłu) pocisku:*

średnica	siła wtłaczania maks.
154,00 mm.	62,5 tonn
152,68 „	43,7 „

Ponieważ przy fabrykacji różnica w wymiarach średnicy wynosi często do 1 mm, odpowiednia zmiana siły osiąga 14 tonn, czyli 25%.

Wynika stąd, jak ważną rzeczą jest sprawdzanie średnicy (tyłu) pocisku, który nie posiada wtoku zaciskowego u spodu pierścienia.

W celu zapobieżenia wyszczególnionym powyżej wadom, komisja doświadczalna zaproponowała następujące środki:

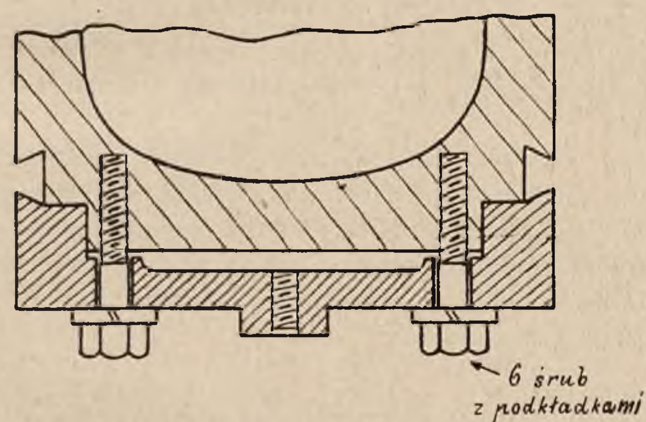
1) Polepszenie sposobów nabijania pierścieni młotem,
2) Ścisłe przestrzeganie wymiarów średnicy zgrubienia (środkującego), celem uniknięcia uderzeń pocisku.
3) Kontrola średnic stożka przejściowego w pierścieniu lub średnicy tyłu pocisku.
4) Kontrola współśrodkowości pierścienia i pocisku.
5) Zastosowanie stożka przejściowego zprzodu pierścienia dla kalibrów 120 i 155 mm.

IV. Wnioski o sposobach zakładania pierścieni wiodących.

Wadliwe przyleganie pierścieni do dna rowka na skorupie pocisku.

Wadliwe przyleganie pierścienia do dna rowka może być spowodowane: a) przez wadliwe założenie pierścienia; metal nie wypełnia całkowicie moletowanych żłobków, b) przez późniejsze odkształcanie się; początkowo metal wypełnia żłobki, lecz następnie cofa się, pozostawiając na pewnej przestrzeni luz pomiędzy dnem rowka, a pierścieniem.

O jakości moletowania jak również o stopniu wypełnienia rowka przez metal, możemy w pewnej mierze przekonać się, zdejmując pierścień ze skorupy pocisku; podobny sposób kontroli nie daje, jednakowoż, możności wyciągnięcia wniosków co do późniejszego od-



Rys. 5.

kształcenia się. Próby dźwiękowe dają możność określić miejsca, w których nastąpiło odkształcenie. Wielkość odkształcenia można zmierzyć stosując pocisk, którego dno można dowolnie rozmontować, jak to wskazuje rys. 5.

Dość ciekawe wyniki dał sposób następujący: pierścień założono na wyżej wspomniany pocisk i unieruchomiono zapomocą żelaznej obręczy dla uniknięcia ewentualnego poruszenia się podczas odejmowania dna pocisku; odpowiednio umieszczone kreski pozwalały skontrolować ewentualne poruszenie się pierścienia. Po zdjęciu dna wielkość odkształcenia się można było zmierzyć zapomocą szczelinomie-

rza. Zapomocą tego sposobu stwierdzono jaki wpływ posiada kilka uderzeń młotka, które stosuje czasami robotnik, chcąc polepszyć styk paska miedzi, którego końce w rzeczywistości już się stykają ze sobą.

Przeprowadzone doświadczenia dały następujące wyniki (stosowano przytem młot automatyczny Ingersoll-Rand'a): zdarza się, iż dzięki jakości miedzi, lub dzięki samemu wykonaniu nałożenia, lub z innych przyczyn — pierścień wydłuża się nieco więcej, jak to było przewidziane przy cięciu pasków, i końce zamiast się łączyć — wystają; wtenczas robotnik, dla zrównania, ponownie uderza młotkiem po styku, powodując tem samem nadmiar wydłużenia, a co zatem idzie, i odkształcenie się w jakiemkolwiek miejscu; otóż stwierdzono. że takie postępowanie wywołało przy pocisku, posiadającym dno rowka gładkie, luz 0,5 mm pomiędzy dnem rowka i pierścieniem, i to na dość dużej przestrzeni.

Dla uwypuklenia poprzedniego doświadczenia, po nałożeniu pierścienia, normalny styk poddano trzykrotnym szybkim uderzeniom młotka pneumatycznego; okazało się, że czynność ta spowodowała powstanie 2 luzów; wielkość jednego wynosiła 0,2 mm, drugiego zaś — 0, 6 mm, przyczem drugi luz obejmował przeszło ćwierć obwodu pierścienia.

Wreszcie, poddając już nałożony pierścień ponownemu działaniu młotka wzdłuż obwodu, otrzymano takie wydłużenie, że końce paska zaszły jeden za drugi na długość, przekraczającą jeden centymetr; doświadczenie to wykazuje, że dla zakładania pierścieni należałoby stosować tylko takie sposoby, które powodują jak najmniejsze wydłużenie pasków miedzi.

Sposób wykrycia wadliwego przylegania pierścieni do dna rowka.

Wadliwe przyleganie pierścienia do dna rowka możnaby ocenić ilościowo jedynie zapomocą prób wtłaczania statycznego, lecz sposób ten nie może być zastosowany jako środek kontroli fabrycznej. Pozostaje jakościowy sposób kontroli zapomocą ostukiwania młotkiem; w zależności od stopnia przylegania pierścienia dźwięk jest mniej lub więcej stłumiony.

Następujący szczegół może posiadać doniosłe znaczenie praktyczne: jeżeli lekko oprzeć palce obok miejsca, gdzie się uderza młotkiem, — to, o ile jest wada w przyleganiu, odczuwa się lekkie odbijanie spowodowane tem, że wadliwie przylegający pierścień odgrywa rolę elastycznej płytki.

Ażeby zapobiec wadliwemu przyleganiu pierścienia, należy przedewszystkiem zwrócić uwagę na sposób posługiwania się młotkiem, podczas łączenia końców paska miedzi.

Warsztaty konstrukcyjne w Lyonie wypróbowały sposób całkowicie usuwający wadliwe przyleganie pierścienia; polega on na tem, że pasek miedzi zawija się ręcznie zapomocą młotka, lub młota pneumatycznego, a następnie przetłacza się przez formę (pierścień) cylindryczno-stożkowatą.

Podane poniżej próby dotyczą pocisków 155 mm opierścienionych zapomocą młotka pneumatycznego i formy cylindryczno-stożkowatej; zbadano je z następujących punktów widzenia:

a) W a d l i w e   p r z y l e g a n i e   p i e r ś c i e n i a: W tym wypadku założono pierścień na pocisk o demontowem dnie — przytem dno rowka pierścienia było zupełnie gładkie; nałożenie wykonano zapomocą młotka pneumatycznego w ten sposób, by spowodować wadę przylegania, którą następnie skontrolowano zapomocą wyżej wskazanego sposobu; przy pierwszej próbie wada przylegania wynosiła $^1/_2$ mm i istniała na $^1/_4$ obwodu pierścienia; przy drugiej próbie wada była dwa razy większa; po przetłoczeniu przez formę wada przylegania znikła zupełnie.

b) D o k ł a d n o ś ć   m o l e t o w a n i a: do prób zastosowano pocisk, rowek którego posiadał skośne żłobki po przemoletowaniu; głębokość odcisku żłobków na wewnętrznej stronie pierścienia wynosiła (w dziesiątych mm):

gdy pierścień był założony zapomocą formy	3,2
„ „ „ „ „ prasy hydr.	6,6

Głębokość odcisku jest więc mniejsza przy zakładaniu pierścienia zapomocą formy.

c) W i e l k o ś ć   s i ł y   w t ł a c z a n i a   s t a t y c z n e g o: wyniki, w porównaniu z pociskiem opierścienionym zapomocą młota, podaje poniższa tabela.

Sposób założenia pierścienia	rowek gładki		rowek moletowany	
	Średnica zewnętrzna pierścienia	Siła w tonnach	Średnica zewnętrzna pierścienia	Siła w tonnach
	mm		mm	
nałożenie zapomocą formy	157,55	45,0	157,57	40
„ „ młota	157,59	39,6	„ „	40

przy jednej i tej samej średnicy pierścienia siła wtłaczania jest większa w wypadku, gdy pierścień nałożono zapomocą formy, co wskazuje na ściślejsze przyleganie pierścienia do swego rowka.

d) Para sił powodująca przekręcenie się pierścienia: wyniki odnośnych prób podaje tabela:

Sposób nałożenia pierścienia	Wartość pary sił	
	rowek gładki	rowek moletowany
	tonny/metry	tonny/metry
Nałożenie zapomocą formy	2,8	3,3
„ „ młota	3,1	4,7

przy zastosowaniu moletowania skośnego wartość pary sił jest mniejsza, gdy nałożenie pierścienia uskutecznia się zapomocą formy, dowodzi to, że odcisk moletowania jest mniej wyraźny a wypełnienie rowka mniej dokładne.

Wynik prób opierścienienia pocisków przy pomocy formy po uprzedniem założeniu pasków zapomocą młota pneumatycznego w warunkach, w jakich ono było wykonane w warsztatach Lyońskich pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1) usuwa zupełnie wady przylegania pierścienia, zapewniając ścisłe zetknięcie się pierścienia z dnem swego rowka,

2) daje gorsze wyniki co do odcisku moletowania żłobków na pierścieniu w porównaniu z prasą hydrauliczną, obniżając tem samem wartość pary sił potrzebnej do spowodowania przekręcenia się pierścienia.

623.45 + 669.14

WARSZAWSKA MARJA.

O TWARDYCH MIEJSCACH (WILKI) W STALACH ŚREDNIOWĘGLISTYCH (POCISKOWYCH)

Po ukończonym procesie świeżenia wsadu w piecach martenowskich następuje proces odtlenienia (desoksydacja). Ponieważ wsad po wyświeżeniu z natury rzeczy zawiera wielką ilość tlenków ($Fe + O \rightarrow FeO$), których obecność nawet w małych ilościach powoduje zwiększenie stopnia kruchości danego materjału, należy usunąć tlenki w piecu martenowskim przez zredukowanie. Do redukcji tlenków używany jest zazwyczaj ferromangan. Ponieważ mangan w warunkach świeżenia płynnego wsadu w piecu martenowskim ma większe powinowactwo do tlenu niż żelazo, odbiera żelazu tlen ($FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$) i w postaci związku MnO, przechodzi do żużli. Ferromangan dodaje się do kąpieli na 15—20 minut przed spustem, następnie cała kąpiel musi być dobrze wymieszana, uspokojona i dopiero wypuszczona do kadzi. O ile zaś kąpiel nie zostanie w piecu odpowiednio wymieszana i po dodaniu żelazomanganu właściwy czas wytrzymana, aby cały Mn rozpuścił się w żelaznej kąpieli. a wytworzony wskutek powyższej reakcji MnO w możliwie jak największej ilości przeszedł do żużla, mogą powstać zjawiska podobne do powstałych w rozpatrywanem przeze mnie tworzywie stali półtwardej.

Rygle wywalcowane z tego materjału wykazały miejscami bardzo nierównomierny skład chemiczny. Warstwy zewnętrzne posiadały normalny skład chemiczny ($C = 0.38\%$, $Mn = 0.7\%$), natomiast poszczególne miejsca wnętrza zawierały zbyt wielki procent węgla (ponad 1%) i niezmiernie dużą zawartość manganu (4—10%).

Przyczyną powyższego musiało być zbyt wczesne ukończenie wytopu. Ferromangan musiał być dodany na krótko przed samym spustem i wsad nie został dobrze wymieszany.

Wystawanie się stali w kadzi było zbyt krótkie, odlew szybki, wobec czego nie wystarczyło czasu na ujednorodnienie się składu chemicznego.



Fot. 1.

Fot. 1 najlepiej obrazuje różnorodność budowy materjału. Jest to odbitka na siarkę (Baumann) — w pobliżu krawędzi rygla widać równomierne rozmieszczenie siarki, zaś cały środek tworzy jakby odrębną część (bogatą w Mn) ze skupieniami siarkowych zanieczyszczeń.

Uskutecznione pomiary twardości w/g Brinella dają bardzo nierówne wyniki, a mianowicie: brzegi próbki stali (fot. 1) dają przeciętną twardość **161** kg/mm², gdy środek ze znaczną zawartością

manganu i węgla ma przeciętną twardość 517 kg/mm² t. zn. o 220% większą.

Sporządzony szlif mikroskopowy, z powyższego kawałka rygla w stanie dostarczonym, po wytrawieniu kwasem pikrynowym daje wyraźną różnicę w budowie warstwy zdrowej i warstwy bogatszej w mangan i węgiel.



Fot. 2. (× 100).

Fot. 2 przedstawia obraz mikro z krawędzi. Widoczna budowa materjału przegrzanego (Widmanstättena). Na jasnem tle ferrytu ziarna perlitu. Przegrzanie nastąpiło na skutek obniżenia przemiany allotropowej przez większą zawartość manganu. Temperatura obróbki mechanicznej przy normalnym składzie chemicznym nie wywołałaby przegrzania, lecz w danym wypadku okazała się już za wysoką.

Fot. 3 — obraz dalszy od krawędzi wyraźnie wskazuje, iż ziarna bliższe obrzeży mają mniejszą ilość perlitu, a w miarę zbliżania się do miejsc środkowych ziarna perlitu i jego ilość rosną.

Fot. 4 — daje obraz przejścia budowy perlitycznej w austenityczną, ziarna perlitu w miarę zbliżania ku austenitowi coraz większe. Miejsce o większej zawartości manganu słabo wytrawia się zwy-



Fot. 3. (× 100).

kłemi odczynnikami, wiadomo bowiem, iż budowa austenityczna jest z natury rzeczy odporna na działanie słabych kwasów.

Fot. 5 — przedstawia obraz budowy austenitycznej, przyczem ziarna wyraźnie oddzielone, granicę ziaren stanowią prawdopodobnie węgliki, które nie weszły do roztworu stałego, tworząc siatkę na całym obrazie.

TABELA I.

Próba I.

Miejsce	Stan dostawy (surowy)	Stan normalizowany (żarzony 850⁰—2 g.)	Stan termicznie ulepszony (hart. 850⁰ w wodzie +15⁰, odpuszcz. 500⁰ i studzony w gorącej wodzie	Stan termicznie ulepszony powtórnie
Materjał zdrowy	149 158 168 156 187 170 158	143 151 128 170 164	209 240 255 223 250 238 202 206 246	206 212 211 221 221 206 204 252 276 250
Materjał zbogacony w Mn i C	445 547 522 555	471 450 433 522	398 368 359 389	365 387 365

Próba II.

Miejsce	Stan dostawy (surowy)	Stan normalizowany (żarzony 850⁰ — 2 g.)	Stan termicznie ulepszony (hart. 850⁰ w wodzie +15⁰ odpuszcz. 500⁰ i studzony w gorącej wodzie	Stan termicznie ulepszony powtórnie
Materjał zdrowy	164 158 164 170 170	160 165 148 168 164 149	212 229 185 192 158 190	204 219 192 196 192 208
Materjał zbogacony w Mn i C	450 514 522 547	507 451 553 405	295 381 330 312	246 252 350 387 252

Fot. 6 — po wytrawieniu pikrynjanem sodowym (zabarwiającym tylko cementyt) daje obraz podobnej budowy. Dla orjentacji porównawczej załączam fot. 7 tejże stali pociskowej z miejsca nieco oddalonego od miejsca utwardnionego o właściwej budowie mikroskopowej.

W celu ujednorodnienia powyższego tworzywa przeprowadziłam kilkakrotną obróbkę termiczną 2 próbek badanej stali z wyżej wymienionym defektem.

Na str. 677 podaję tabelę I z wyszczególnieniem pomierzonych twardości.



Fot. 4. (X 100).

Z powyższej tabeli widoczne, że: **Materjał zdrowy:** — 1) po wyżarzeniu i chłodzeniu na powietrzu (normalizowany) wykazuje naogół nieco obniżoną twardość; 2) po hartowaniu i następnem odpuszczaniu twardość jest znacznie wyższa; 3) po powtórnem termicznem ulepszeniu twardość — równa poprzedniej. Powyższe zmiany zachodzą w obydwu próbach analogicznie, t. j. materjał wyżarzony daje normalnie mniejszą, a po termicznem ulepszeniu większą twardość.

Materjał zbogacony w Mn i C; 1) po wyżarzeniu i chłodzeniu

na powietrzu twardość spadła; 2) po hartowaniu, odpuszczaniu twardość jeszcze bardziej spada; 3) po powtórnem hartowaniu — odpuszczaniu również, lecz nieznacznie już maleje.

Z podanego zestawienia pomiarów twardości wyprowadziłam tabelę II (str. 680), w której są podane przeciętne twardości, oraz różnice procentowe po każdorazowej obróbce termicznej obu próbek.

Z tabeli II wynika, że procentowe różnice twardości miejsc zdrowych i zbogaconych w Mn i C stopniowo maleją i od początkowej 220% spadają aż do 65% w pierwszej próbce, zaś w drugiej



Fot. 5. (× 100).

z 207% spadają do 47% po dwukrotnem przeprowadzeniu ulepszenia termicznego.

Cel obróbki termicznej został w znacznej mierze osiągnięty, gdyż materjał pod względem twardości jest wyraźnie ujednorodniony.

Spadek twardości ośrodka t. j. części zawierającej duży % Mn można tłumaczyć następująco. Mangan tworzy z węglem, podobnie jak żelazo, węglik Mn_3C, który wchodząc w roztwór stały powoduje znaczny wzrost twardości. Jednak w danym procesie po każdo-



Fot. 6. (× 100).

TABELA II.

Miejsce	Stan dostawy	Stan normalizowany	Stan termicznie ulepszony	Stan termicznie ulepszony powtórnie
Próbka I.				
Materjał zbogac. w Mn i C	517 kg/mm²	469 kg/mm²	379 kg/mm²	372 kg/mm²
Materjał zdrowy	161 „	151 „	227 „	226 „
Różnice w %	220 %	210 %	68 %	65 %
Próbka II.				
Materjał zbogac. w Mn i C	508 kg/mm²	479 kg/mm²	329 kg/mm²	297 kg/mm²
Materjał zdrowy	165 „	159 „	194 kg/mm²	200 „
Różnice w %	207 %	205 %	69 %	47 %

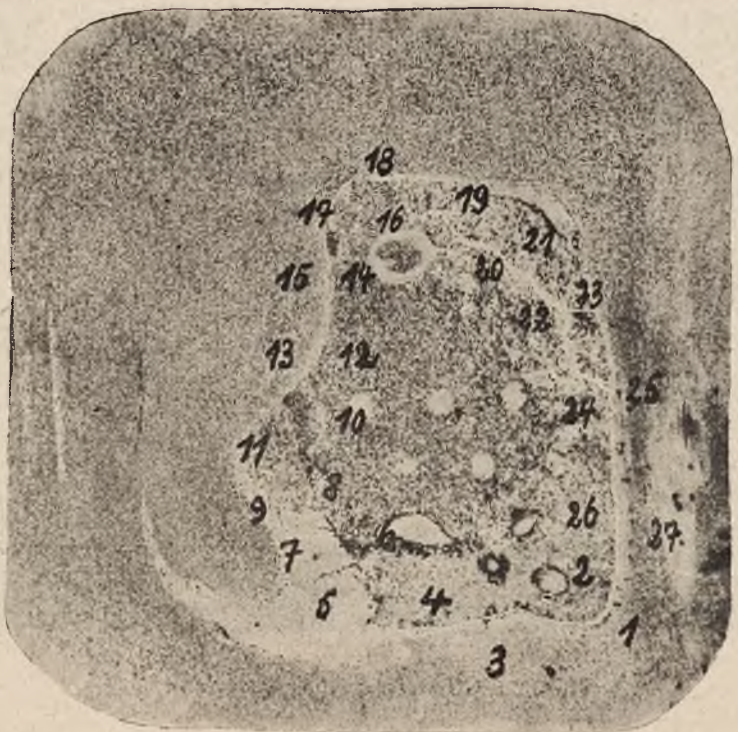


Fot. 7. (× 100).

razowej obróbce termicznej szykość stygnięcia okazała się prawdopodobnie za powolna przez co węgliki manganu nie zdążyły się utrzymać w roztworze, lecz częściowo zostały wydzielone; t. zn. im mniejsza była szybkość chłodzenia, tem utwardnienie jest mniejsze. Odpuszczanie mogło również spowodować wydzielanie się węglików podwójnych żelaza i manganu w postaci większych skupień, które jak wiadomo powodują wzrost twardości.

Dla łatwiejszej orjentacji podaję pomierzone twardości po powtórnem termicznem ulepszeniu, które są oznaczone na fotogr. 8.

Nr.	kg/mm^2.
1	229
2	202
3	221
4	192
5	188
6	168
7	194
8	345



Fot. 8.

9	221
10	295
11	214
12	376
13	175
14	387
15	174
16	229
17	187
18	223
19	153
20	196
21	167
22	178
23	192
24	206

25	192
26	196
27	212

Przyczynę powstawania pęknięć w miejscu zetknięcia materjału utwardnionego z tworzywem o normalnym składzie chemicznym można wytłumaczyć w następujący sposób.

Wobec różnego składu chemicznego temperatura przemiany allotropowej różnych przestrzeni danego materjału jest różna, skutkiem czego tworzywo w miejscach o normalnym składzie chemicznym w czasie energicznego chłodzenia początkowo się kurczy, a w czasie zaś uskutecznionej przemiany allotropowej gwałtownie rozszerza (okres tworzenia się martenzytu). Natomiast materjał bogaty w mangan, mając przed i po hartowaniu tę samą budowę austenityczną podczas oziębiania stale równomiernie się kurczy. Powstające w czasie uskuteczniania się przemiany allotropowej wskutek tych anomalij dilatometrycznych naprężenia ściskające i rozciągające różne dla różnych miejsc materjału (o różnym składzie chemicznym) wywołują powstawanie szczeliny.

Na mocy powyższego można sądzić, że właściwa obróbka termiczna może w pewnym stopniu ujednorodnić różnorodne twardości poszczególnych miejsc takiego materjału, jednak nie tak dalece, jak byłoby to pożądane, ponieważ będzie stało na przeszkodzie nieunikniones powstawanie pęknięć.

Na zakończenie uważam za miły obowiązek podziękować Dyrekcji Huty Pokój za pozwolenie mi w czasie mej praktyki opracowania powyższego tematu, zaś Kierownikowi Zakładu Badawczo-Doświadczalnego Huty Pokój, Dr. Inż. I. Feszczenko-Czopiwskiemu, za naukową pomoc w czasie tej pracy.

620.197 + 623.48

Inż. KRAUZE LEONARD.

O CZERNIENIU BRONI

CZĘŚĆ I.

Stosowane dla zabezpieczenia części żelaznych i stalowych przed rdzewieniem sposoby dadzą się podzielić, pomijając mało praktyczne lub niepewne, na 4 grupy: 1) wytwarzanie na powierzchni ochronnej powłoki tlenków, 2) wytwarzanie na powierzchni osadów chemicznych, zabezpieczających przed działaniem czynników atmosferycznych, 3) pokrywanie warstwą farby olejnej, smaru, lakieru i t. p., 4) powlekanie innemi metalami, jak cynk, cyna, nikiel, ołów i t. p. Każdy z tych sposobów ochrony przed rdzą ma swoje zalety i wady, które ograniczają ich zastosowanie do pewnych określonych celów. Jeżeli chodzi o broń, zarówno armatnią, jak i małokalibrową, to z wymienionych wyżej sposobów największem użyciem cieszy się dotychczas: wytwarzanie na powierzchni ochronnej warstwy tlenków, oraz pokrywanie warstwą smaru, lakieru, farby olejnej i t. p. To ostatnie praktykowane jest najszerzej, zwłaszcza dla części armat, jaszczy, podstaw i t. p., które zazwyczaj nie są narażone na silniejsze ogrzewania, co mogłoby powodować niszczenie warstwy np. farby, a dzięki większym rozmiarom części daje się łatwo wykonywać, bez trudności poprawiać i t. p.; przy tem wszystkiem jest to sposób tani i wystarczająco trwały. Natomiast dla części broni wystawionych w czasie strzelania na dość znaczne ogrzewanie, narażonych przez częste użycie na wycieranie, zabezpieczenie ich wytwarzaniem trwałych osadów, okazuje się racjonalniejsze. Nie została dotychczas w wojskowości wyzyskana jeszcze jedna metoda ochronna: powlekanie innemi metalami przez rozpylanie, znane pod nazwą sposobu Schoopa; sposób ten zasługuje na bliższe z nim zaznajomienie się i, kto wie, czy nie wykazałby w pewnych wypadkach stron praktycznych.

Bliższe zapoznanie się ze sposobami, praktykowanemi w wytwórniach broni, warsztatach rusznikarskich i zbrojowniach wykazuje, że pomijając smarowanie olejem lub lakierem, najczęściej stosuje się czernienie, t. zn. pokrywanie warstwą magnetycznego tlenku żelaza Fe_3O_4, prowadzone w rozmaity sposób. Pobieżny przegląd recept, stosowanych w różnych wytwórniach i warsztatach, pozwala rozdzielić je na 2 typy: a) czernienie przez powlekanie nalotem na gorąco i b) t. zw. „bronzowanie", t. j. pokrywanie nalotem na mokro. Czernienie przez powlekanie nalotem na gorąco uskutecznia się przez zwykłe napuszczanie na kolor, t. zn. ogrzewanie bezpośrednio danej części nad płomieniem do odpowiedniej temperatury, przy której wytwarza się nalot barwy ciemno-niebieskiej. Nalot ten jest do pewnego stopnia ochroną przed rdzewieniem, jednak, jak wykazały próby, przeprowadzone w Instytucie Badań Materjałów Uzbrojenia, jest on zbyt cienki, aby stanowił dostatecznie trwałą ochronę, o ile, oczywiście nie zostanie pokryty dodatkowo warstwą tłuszczu lub lakieru. Tembardziej, że, jak wykazały prace Evansa, znaczny wpływ na szybkość korrozji ma stopień gładkości powierzchni: im powierzchnia ta wykazuje więcej rys drobnych i wąskich, tem proces rdzewienia przebiega szybciej. Wytłumaczenie tego zjawiska leży w stwierdzeniu faktu, że z jednej strony w szczelinach mikroskopowych najchętniej osiada wilgoć, a z drugiej obecność tej wilgoci w szczelinach jest źródłem prądów voltaicznych pomiędzy cząsteczkami żelaza, stykającemi się z wodą i stykającemi się z powietrzem, które wywołują lokalne procesy elektrolityczne, przeprowadzające w wyniku żelazo w postać mniej lub więcej zbliżoną do $Fe(OH)_3$. Przeżarcie ochronnej powłoki w jednem miejscu prowadzi w ten sposób do wytworzenia się odpryskującej warstwy rdzy, i zarażone w ten sposób miejsce staje się siedliskiem dalszej zarazy i stopniowego przeżerania całego objektu. Również i z innego względu taka warstwa nalotowa nie jest dostatecznie trwała: mianowicie, dość szybko ulega starciu przy pocieraniu np. o sukno, nie mówiąc, oczywiście, o tarciu piaskiem, ziemią i t. p. przypadkowemi substancjami. I w tym względzie próby, przeprowadzone w I. B. M. U., wykazały małą stosunkowo odporność tak wywołanej warstwy nalotowej.

Znacznie trwalsze warstwy nalotowe tlenków dają się otrzymać przez zastosowanie środków chemicznych dla ich wywołania. Do takich chemicznych pobudzaczy należy zaliczyć związki, stosunkowo łatwo oddające tlen, jak np. braunsztyn MnO_2, saletra potasowa KNO_3, dwuchromian potasu $K_2Cr_2O_7$, nadtlenek sodowy Na_2O_2 i in-

ne. To też stosowanie tych ciał, zarówno w oddzielności, jak zwłaszcza w postaci mieszanin i kompozycyj, nieraz patentowanych, daje doskonałe rezultaty i cieszy się znacznem powodzeniem. Szczególnie dobre wyniki dają mieszaniny saletry z braunsztynem oraz ługu sodowego z dwuchromianem — sposób znany pod nazwą Ortomanu. Dzięki łatwości wydzielania z tych ciał tlenu, tworzenie się Fe_3O_4 jest znacznie energiczniejsze i przenika znacznie głębiej, dając powłoki grubsze, a więc tem samem trwalsze i odporniejsze. Przy fabrykacji lub remoncie broni sposoby te stosowane są bardzo szeroko, i jak wykazały próby przeprowadzone w I. B. M. U., istotnie dają one wyniki, bez porównania przewyższające, zarówno pod względem odporności na rdzewienie, jak i trwałości na wycieranie, warstwy nalotowe, otrzymane przez proste ogrzewanie. Również grubą i odporną warstwę otrzymać można przez ogrzewanie w przegrzanej parze, zmieszanej z gazem generatorowym, wodorem lub parami węglowodorów; sposób np. Bower-Barffa oparty jest na ogrzewaniu w ciągu 20 minut w przegrzanej parze przy 900°, poczem wytworzony tlenek żelaza Fe_2O_3, przez ogrzewanie w atmosferze gazów węglowych zostaje zredukowany do Fe_3O_4, co daje warstwę bardzo trwałą, zwłaszcza dla przedmiotów żelaznych, narażonych na ogrzewanie (np. ruszty kuchenne).

W pewnem pokrewieństwie stoi sposób, oparty na ogrzewaniu na gołym ogniu części, zanurzonych poprzednio lub pokrytych cienką warstwą oleju lub wosku ziemnego. W tym wypadku, oprócz warstwy ochronnej tlenku Fe_3O_4 osiadają mikroskopijne cząsteczki elementarnego węgla, wypełniając przedewszystkiem wszelkie nierówności, rysy, zadrapania powierzchni i chroniąc je w ten sposób od wdzierania się w nie wilgoci.

Wszystkie wyżej wymienione sposoby przy dużych zaletach i wielkiej prostocie wykonania, nie wymagającej specjalnych urządzeń (z wyjątkiem sposobu Bower - Barffa), mają jedną wspólną wadę: wymagają ogrzewania czernionej części do mniej lub więcej wysokich temperatur, co dla przedmiotów stalowych, hartowanych może być niekorzystnem, gdyż ogrzewanie takie pociągnąć może odpuszczenie częściowe lub całkowite hartu. Do takich hartowanych części stalowych sposoby te nie nadają się i dla nich w powszechnem użyciu jest t. zw. „bronzowanie".

Bronzowanie, dla którego praktyka posiada ogromną liczbę recept, mniej lub więcej pewnych lub zawodnych, oparte jest na działaniu kwaśnych roztworów różnych soli żelaza, miedzi, antymonu,

rtęci, bizmutu i t. p. przeważnie chlorków, częstokroć w obecności organicznych odczynników, jak alkohol, eter, kwas gallusowy. Roztworem takim naciera się przedmiot przy pomocy gąbki lub szmatki i pozostawia na pewien czas na wolnem powietrzu lub przy 100° w komorze, wypełnionej wilgotną parą wodną. W tych warunkach powierzchnia pokrywa się mieszaniną rdzy i niewielką ilością innych tlenków żelaza, a także osadem molekularnym miedzi i jej tlenków, antymonu, rtęci i t. p. Osady te jednak w przeważnej większości słabo przylegają do powierzchni i zostają usunięte przez następujące po odrdzewieniu szczotkowanie, pozostaje tylko niewielka ilość osadu, silniej do metalu przywierająca. Okoliczność ta wymaga kilkakrotnego, nieraz 5—7 krotnego powtórzenia całej procedury, zanim wytworzona warstwa osiągnie wymaganą grubość i trwałość. Pewne przyśpieszenie osiąga się przez stosowanie bardziej stężonych roztworów czerniejących, jednak kosztem trwałości, gdyż przy użyciu mocniejszych odczynników osady słabiej przywierają do metalu. Jak widać, poważną wadą bronzowania jest powolność zachodzących procesów, których przyśpieszenie środkami sztucznemi nie zawsze jest korzystne, oraz duży nakład robocizny przy nacieraniu, szczotkowaniu i t. p. manipulacjach, co przy wyziewach kwaśnych i wilgotnych również jest dość uciążliwe. Pomimo to bronzowanie stosowane jest niemal powszechnie w zakładach i wytwórniach broni, jako jedyny i najlepszy środek czernienia bardziej odpowiedzialnych części broni, jak lufa, obsada i t. p.

Wady bronzowania, wspomniane wyżej, zmuszają do poszukiwania innych środków czerniących nie mniej skutecznie, jednak dających wyniki dobre już za jednorazowem przeprowadzeniem właściwych czynności. Na tle tych poszukiwań powstał patent włoski Gueriniego i patent amerykański Parkera. Guerini zużytkował znane czerniące własności na żelazo alkalicznych roztworów kwasu pikrynowego; czerniony przedmiot ogrzewa się w ciągu godziny we wrzącym roztworze pikrynjanu sodowego, starannie potem opłukuje się, naciera mieszaniną oleju z naftą i wysusza w trocinach. Wartość tego sposobu została oceniona przez włoskie zakłady wojskowe i sposób ten zastosowany został do czernienia luf karabinowych i pistoletów. Trujące własności pikrynjanu sodowego i pewne niedogodności z używania kwasu pikrynowego, jako silnego materjału wybuchowego, są do pewnego stopnia przeszkodą w rozpowszechnieniu tego sposobu.

Patent Parkera oparty jest na ogrzewaniu czernionych części

we wrzącym roztworze kwaśnych fosforanów żelaza $Fe(H_2PO_4)_3$ i $Fe(H_2PO_4)_2$; działaniem tych kwaśnych soli na żelazo tworzy się na powierzchni nowy, o innym składzie chemicznym nierozpuszczalny związek fosforanowy żelaza, który osiada na powierzchni, tworząc trwałą i odporną na działanie czynników atmosferycznych powłokę. Aczkolwiek patent ten był już znany przed wojną, stosowanie jego praktyczne rozpowszechnione było słabo, i to głównie w Ameryce. Po wojnie zainteresowano się tym patentem w wytwórniach broni amerykańskich, a obecnie znajduje on coraz szersze rozpowszechnienie na kontynencie Europy. W obecnej chwili zakłady wojskowe w Springfield, wyrabiające broń ręczną dla armji amerykańskiej, przeszły na czernienie sposobem Parkera, a z europejskich — zakłady Hotchkiss'a w Paryżu, zakłady marynarki w Hawrze, Fabrique Nationale w Belgji i inne. Wobec takiego rozpowszechnienia sposobu Parkera w wytwórniach wojskowych, należało bliżej sposób ten poznać i o wartości jego przekonać się praktycznie. W tym celu w I. B.M. U. został przeprowadzony dłuższy szereg prób, celem wypośrodkowania najlepszych warunków stężenia roztworu czerniącego i czasu działania, aby uzyskać powłokę dostatecznie grubą i trwałą. Po opanowaniu trudności laboratoryjnych przystąpiono do prób na większą skalę, przez próby czernienia gotowych części broni, jak lufa i obsada kbk. Wyniki otrzymano doskonałe, gdyż uzyskana warstwa bardzo silnie przywierała do powierzchni i próby odporności na rdzewienie oraz na wycieranie wykazały zalety, nie mniejsze od prób, czernionych zwykłym sposobem bronzowania.

CZĘŚĆ II.

Procedura czernienia sposobem Parkera wymaga przeprowadzenia następujących czynności: 1) przygotowania wanny czerniącej, 2) przygotowania wstępnego lufy czy innej części broni, 3) ogrzewania w kąpieli czerniącej, 4) płókania i suszenia, 5) nacierania olejem lub lakierem.

I. Przygotowanie wanny. Sporządza się najpierw roztwór stężony przez rozpuszczenie w 50 gr 65% kwasu ortofosforowego, ogrzanego do wrzenia, 5 gr opiłek żelaznych i dalsze ogrzewanie, aż do zupełnego rozpuszczenia; roztwór przesącza się od wydzielonego osadu, poczem rozcieńcza 1,5 litrami wody. Dla uniknięcia tych manipulacyj, wymagających bądź co bądź pewnej znajomości chemji, firma Parker Rust Proof Co w Detroit (przedstawiciel na Europę:

„Societé Continentale Parker" w Paryżu), przygotowuje sól czerniącą w suchej postaci, której rozpuszczenie w odpowiedniej proporcji w wodzie daje kąpiel o wymaganej sile. Szczegóły sporządzenia tej właśnie soli stanowią zastrzeżenia patentowe firmy, uzyskane również i na Polskę (patent Nr. 7874 na sposób zabezpieczenia od rdzy wyrobów żelaznych lub zawierających żelazo, udzielony dn. 30 czerwca 1927 r. Parker Rust Proof Company w Detroit, Michigan, St. Zjedn. Ameryki). W miarę zużycia siła czerniąca kąpieli słabnie, co wymaga dodania nowej porcji roztworu stężonego lub soli; uchwycenie właściwego momentu dodania soli wymaga oznaczenia stopnia kwasowości kąpieli przez odmiareczkowanie normalnym ługiem; z obliczenia po miareczkowaniu wyniku łatwo można otrzymać ilość potrzebnej dla uzupełnienia siły kąpieli soli lub roztworu stężonego. Ta kontrola wymaga również nadzoru chemika, jednak przy masowej produkcji artykułów tego samego typu z łatwością mogą być ustalone drogą praktyczną ilości soli lub roztworu, potrzebne do wyczernienia określonej ilości przedmiotów, przez co kontrola ze strony chemika może być już zbędną.

II. Przygotowanie przedmiotów do czernienia. Zasadniczym warunkiem uzyskania powłoki jednostajnej i ściśle przylegającej do powierzchni, ogólnym zresztą dla wszystkich sposobów czernienia na mokro, jest usunięcie z powierzchni wszelkich śladów brudu, tłuszczu, potu i t. p. W tym celu przedmioty czernione powinny być wygotowane w sodzie lub wysuszone po pokryciu grubą warstwą gaszonego wapna, zarobionego z wodą, poczem, unikając dotykania czernionych powierzchni, opłókuje się je gorącą wodą, bajcuje w 10%-ym roztworze kwasu siarkowego, opłókuje ponownie w wodzie, poczem gotowe są one do kąpieli. Oczywiście wszelkie ślady rdzy, plamy od utlenienia, naloty i t. p. muszą być przed tem wszystkiem również starannie usunięte przez piaskowanie, co wpływa korzystnie również i na sam przebieg czernienia.

III. Ogrzewanie w kąpieli czerniącej. Proces czernienia wykonywa się w wannie stosownego kształtu i rozmiarów, sporządzonej z blachy żelaznej i ogrzewanej w dowolny sposób — czy to palnikami gazowemi lub innemi zzewnątrz, czy to wężownicą, umieszczoną na dnie wanny. W czasie procesu kąpiel powinna być stale utrzymywana w temperaturze wrzenia; przedmioty czernione powinny być zanurzane w wannie tak, aby powierzchnie czernione nie stykały się ani ze sobą, ani ze ściankami wanny — najprościej zawieszać je na haczykach z drutu, co ułatwia również ich wyjmowanie. Czas nagrze-

wania zależy przedewszystkiem od żądanej grubości uzyskanej powłoki: doświadczenia laboratoryjne i warsztatowe wykazały, że czas $1^1/_2$—2 godzin najzupełniej wystarcza do uzyskania należytej grubości powłoki. W czasie gotowania ma miejsce silne pienienie się cieczy dzięki wywiązywaniu się wodoru — pienienie to w końcu procesu słabnie i prawie ustaje. Przy działaniu kąpieli na żelazo tworzy się również biały osad zasadowego fosforanu, nie przylegający trwale do powierzchni, a lekko osiadający, zwłaszcza w różnych zagłębieniach, na gwintach i t. p. Osad ten, sam przez się nieszkodliwy, musi być jednak później ze względów estetycznych przy czyszczeniu usunięty. Ponieważ silniejsze nieco przywieranie tego osadu może być nieraz przyczyną nierówności zabarwienia poczernionej powłoki, należy w czasie kąpieli dbać o należyte mieszanie cieczy lub poruszanie czernionych przedmiotów, celem utrudnienia mocniejszego przywierania tego białego osadu.

IV. *Płókanie i suszenie.* Usunięcie resztek roztworu kwaśnego ze ścianek poczernionego przedmiotu, a zwłaszcza białego nalotu, jest konieczne. W tym celu przedmioty powinny być opłókane we wrzącej wodzie, potem w bieżącej czystej i wysuszone w suszarce lub w trocinach. Poczem resztki białego nalotu należy zdjąć przez lekkie szczotkowanie.

V. *Olejenie.* Ostatnią wreszcie czynnością, niezbędną zarówno dla uodpornienia powłoki, jak i nadania jej należytego czarnego zabarwienia —po wyjęciu bowiem z kąpieli powierzchnia jest barwy raczej siwej — naciera się powierzchnie olejem lnianym, wazeliną lub innemi tego rodzaju mieszaninami. Nacieranie to powinno być wykonywane tak, aby tłuszcz wtarty był silnie, aby obecność tłuszczu przy dotknięciu powierzchni nie dała się wyczuć.

Tak sporządzone powierzchnie posiadają barwę prawie czarną— być może nie tak czysto — czarną, jak przy bronzowaniu, — jednak kwestja odcienia byłaby raczej sprawą estetyki i gustu, niż o znaczeniu istotnem. Natomiast istotniejszem byłoby, że powierzchnia ta nie posiada wyraźnego połysku, jaki np. uzyskuje się przy bronzowaniu lub czernieniu na gorąco. Pełna matowość powierzchni byłaby raczej — jeżeli chodzi o broń — zaletą, niż wadą, gdyż usuwałaby odblaski i refleksy, widoczne z dalszej odległości z powierzchni broni gładko polerowanej.

Jak widać z opisu czynności, parkeryzacja góruje nad bronzowaniem przez to, że nie wymaga powtarzania manipulacyj, zwłaszcza

kilkakrotnych nacierań płynem czerniącym i szczotkowań, co daje znaczną oszczędność na robociźnie i czasie.

Według sprawozdań amerykańskich, Zbrojownia w Springfield sposobem Parkera czerni następujące części broni ręcznej: lufę, obsadę, trzon zamkowy, wyciąg, wieczko, trzewik, pudełko i bączek tylny. Inne części broni, nie poddawane obróbce termicznej, czerni się na gorąco (w mieszaninie saletry z braunsztynem) lub w oleju (w piecyku muflowym).

Oczywiście, przez działanie kąpieli czerniącej, następuje pewne wyżeranie powierzchni, przez co wymiary mogą być do pewnego stopnia zmienione. W każdym jednak razie wyżeranie to nie jest większem, aniżeli przy zwykłem bronzowaniu na mokro, powtarzanem kilkakrotnie. Dla przedmiotów precezyjnych, od których wymaga się utrzymania wymiarów w bardzo wąskich granicach, jak np. sprawdziany, sposób Parkera mógłby się okazać nieodpowiednim — wymagałoby to jednak sprawdzenia, w jakim stopniu i w jakich granicach, wyżeranie to byłoby jednak dopuszczalnem.

CZĘŚĆ III.

Ocena przydatności tego lub innego sposobu czernienia, poza kwestją kalkulacji, łatwości wykonania, trudności instalacyjnych i nadzoru, wymaga w pierwszym rzędzie rozstrzygnięcia dwóch pytań: czy uzyskana powłoka jest dostatecznie odporna na rdzewienie, i czy jest dostatecznie trwała, to jest nie ulega zbyt szybkiemu wycieraniu. Dla otrzymania odpowiedzi na te dwa zasadnicze pytania, należałoby przeprowadzić odpowiednie próby laboratoryjne, w warunkach w miarę możności, najbardziej zbliżonych do rzeczywistości. Doświadczenia takie były przeprowadzone w I. B. M. U. i jak zaznaczono było wyżej, stwierdziły zupełną przydatność czernienia sposobem Parkera. Metodyka tych doświadczeń była następująca.

I. *Próby rdzewienia.* Kwestja próbowania odporności materjału na rdzewienie naturalne, korrozję czynnikami chemicznemi i t. d. stanowi bardzo obszerną dzisiaj literaturę techniczną. Jak wynika z jej przestudjowania, metody laboratoryjne, mające na celu ustalenie stopnia odporności danego objektu na działanie czynników atmosferycznych, są dzisiaj tak różnorodne i dają wyniki tak rozbieżne, że porównawcze ich zużytkowanie częstokroć nie daje się przeprowadzić zupełnie. Utrudnia to w znacznym stopniu i ta okoliczność, że jak wykazały doświadczenia Vernona, Evansa, Rosenhaina i innych,

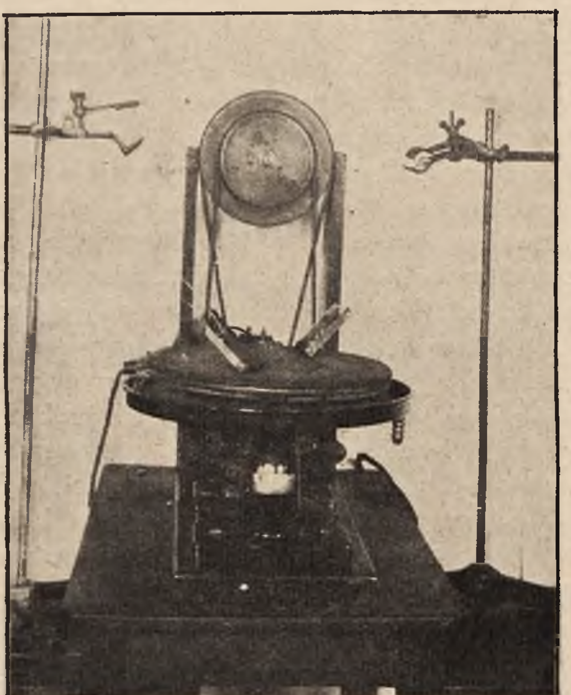
silny wpływ na rdzewienie ma skład chemiczny powietrza, a przedewszystkiem obecność w nim różnych nieraz przypadkowych domieszek jak: SO_2, H_2S, NH_3, Cl i t. p., a więc i przeprowadzenie prób laboratoryjnych z uwzględnieniem tak licznych i nieprzewidzianych czynników byłoby niewykonalne. Z drugiej zaś strony próby laboratoryjne muszą dawać wyniki w ciągu możliwie krótkiego czasu, a więc działać czynnikami silnie korrodującemi. Z pośród licznych sposobów, próbowanych w I. B. M. U., ostatecznie zatrzymano się na



Rys. 1.

sposobie, opracowanym przez b. Kierownika Centrali Badań Laboratoryjnych Instytutu prof. Boguskiego. Sposób ten polega na poddawaniu badanych na odporność na rdzewienie przedmiotów działaniu wilgotnego powietrza, zawierającego określony procent tlenku azotu N_2O_4. Zastosowanie tego tlenku spowodowane zostało tem, że: 1) dozowanie ilości jego w powietrzu może być uskutecznione z daleko idącą dokładnością, i 2) działanie jego w obecności pary wodnej na powierzchnie metalowe (a i niemetalowe przeważnie także) jest

bardzo silne i szybkie. Dla przeprowadzenia próby stosuje się aparat, uwidoczniony na rys. 1, a składający się z klosza szklanego o wymierzonej pojemności, ustawionego na przytartej doń płycie szklanej. Badane przedmioty umieszcza się pod kloszem na szklanem rusztowaniu; powietrze pod kloszem nasyca się wilgocią przez umieszczenie kawałka mokrej waty, a wprowadza się oznaczoną ilość tlenku azotu przez wstawienie miseczki z odmierzoną ilością cm³ wodnego roztworu azotynu sodowego $NaNO_2$ o znanem stężeniu i wlanie na chwilę przed przykryciem klosza kilku cm³ stężonego kwasu siarko-



Rys. 2.

wego. Termometr, umieszczony w szyjce klosza, wskazuje temperaturę zawartego pod nim powietrza. Pozostawiając badany przedmiot na pewien czas w takich warunkach, obserwować możemy zachowanie się jego i oznaczyć czas, potrzebny do wywołania wyraźnych śladów rdzy, lub też określić stopień zardzewienia po upływie określonego czasu.

Ponieważ doświadczenie to nie może dać liczb absolutnych, wykazujących odporność na rdzewienie, próbę przeprowadza się porównawczo z innym okazem, uważanym za odporny w dostatecznym stopniu; a dla uzyskania maksymalnych wskazówek odporności stosuje się porównanie z kawałkiem stali, pokrytej grubą warstwą czystej amerykańskiej wazeliny, która, jak wykazały próby, chroni przed rdzewieniem w aparacie w ciągu nieograniczonego czasu.

Dla prób z parkeryzacją stosowano koncentrację 1% N_2O_4, gdyż przy tej koncentracji po upływie 20 godzin kawałki luf, czernionych zwykłym sposobem bronzowania, wykazały już wyraźne ślady rdzy. W podobnych warunkach kawałki stali, czernionej sposobem Parkera wykazały pojawienie się rdzy dopiero po upływie 22 godzin. Próbki, czernione drogą napuszczania na gorąco, w tych warunkach, po upływie 20 godzin wykazały zupełne przerdzewienie, ,zaś czernione w ortomanie — ślady pojawiającej się rdzy po 17 godzinach.

II. *Próby ścierania.* Dla określenia odporności na ścieranie, wobec braku opracowanych w literaturze technicznej sposobów, stosowano urządzenie, uwidocznione na rys. 2. Mianowicie na zwykłej szlifierce metalograficznej poziomej, zakładano tarczę, pokrytą suknem, używanem do polerki, i umieszczając na niej cylinderki stalowe jednakowych wymiarów, opierające się swoim własnym ciężarem, puszczano w ruch szlifierkę, mierząc czas potrzebny do pojawienia się błyszczącej metalicznej powierzchni. Cyliderki próbne czerniono rozmaitemi sposobami i znów próby wykazały bezwarunkową wyższość parkeryzacji nad innemi sposobami czernienia. Mianowicie, przy 1400 obrotach na minutę, próbka czerniona sposobem bronzowania wykazała wyraźnie błyszczącą powierzchnię po upływie 6 minut, próbka parkeryzowana — 7 minut, próbki czernione przez napuszczanie nie wytrzymały więcej ponad 3 — 4 minuty.

Literatura: H. Krause. Metallfärbung. Berlin 1922.
Ulick R. Evans. The Corrosion of Metals. London 1924.
Handbook of the American Society for Steel Treating, Cleveland 1927.
Hütte. Taschenbuch der Stoffkunde, Berlin 1926.
Czasopisma: Korrosion und Metallschutz.
Army Ordnance, Transactions of the American Society for Steel Treating.
Iron Age.

Ppłk. inż. JAKOWSKI KAZIMIERZ.

W SPRAWIE ZUŻYWANIA SIĘ LUF DZIAŁOWYCH

Wstęp.

W literaturze powojennej Państw Zachodnich w okresie, który nastąpił bezpośrednio po wielkiej wojnie światowej, aż do końca roku 1922, znajdujemy stosunkowo dużo prac, poświęconych sprawie zużycia luf działowych; dalsze lata przynoszą o wiele mniej danych w tym względzie; staje się to zupełnie zrozumiałe, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że przy określaniu zarówno przyczyn, jak i skutków zużycia koniecznem jest opierać się na danych doświadczalnych; celem uzasadnienia licznych podanych w tym względzie teoryj i ustalenia stosunkowej wartości wpływu poszczególnych przyczyn, co do których wypowiadali swe hipotezy autorzy wyżej wzmiankowanych teoryj, byłoby rzeczą konieczną urzeczywistnić zespół licznych systematycznych prób, co jest w czasie pokojowym rzeczą absolutnie niemożliwą, z powodu kolosalnych wydatków, które pociągnęłyby za sobą podobne próby; jest więc rzeczą zrozumiałą, iż starano się w tym względzie wykorzystać dane i wnioski, wynikające z setek tysięcy strzałów, oddanych w czasie wojny z dział najrozmaitszych typów i kalibrów, w najbardziej różnorodnych warunkach; zrozumiałem więc jest, że wyniki odnośnych studjów przeszły do literatury w okresie następującym bezpośrednio po wojnie, dalszy zaś okres musiał być o wiele mniej płodny w tym względzie.

Pomimo bogatej literatury, sprawie zużycia luf poświęconej, samo pojęcie zużycia nie zostało wszędzie należycie dokładnie ustalone i sprecyzowane; poszczególni autorzy używają wyrazu „zużycie", jako synonimu pojęcia „przepalanie" (wzgl. wypalanie) czyli

„erozja" luf, inni identyfikują zużycie ze zmianą wymiarów wnętrza lufy na skutek tarcia, inni wreszcie rozróżniają wyżej wzmiankowane pojęcia.

Wydawałoby więc się rzeczą wskazaną przedewszystkiem poddać analizie samą odnośną terminologję, tembardziej, że nie została ona jeszcze ostatecznie ustalona w słownictwie oficjalnem i że na tem tle zdarza się słyszeć zdania, które wydają się być oparte na oczywistem nieporozumieniu i które polegają w gruncie rzeczy na doszukiwaniu się analogji ze zjawiskami z innych działów techniki, jakkolwiek sam charakter odnośnego zjawiska w lufie działowej, stojącego w bezpośrednim związku z kinetycznem działaniem gazów prochowych pod wielkiem ciśnieniem, już z tego tytułu nie znajduje, zdaniem mojem, odpowiednika w innych gałęziach nauk technicznych. Prócz tego w artykule niniejszym postaramy się przedstawić ustalone doświadczalnie fakty, które wydają się nie ulegać wątpliwości, a które dotyczą samego przebiegu zjawiska zużycia lufy, jego skutków i wpływu poszczególnych czynników na stopień i szybkość zużycia, — oraz omówić środki zapobiegawcze; sprawę prowdopodobnych przyczyn, i związanych z tem hipotez i teoryj, traktować tu będziemy, jako rzecz drugorzędną.

1. Określenie pojęcia „zużycie".

Przeznaczeniem lufy jest „użycie" jej do strzelania, które — jak każde użycie — musi prowadzić do jej „zużywania się", podobnie jak zużywa się każde narzędzie, każda maszyna, każdy organizm; doszukiwano się tu analogji nietylko w świecie przedmiotów martwych ,lecz nawet i w świecie istot żyjących.

Mjr. art. franc. Ott [1]) mówi w tym względzie, co następuje: „Lufa stanowi prawdziwe narzędzie, którego warunki pracy są specjalnie trudne. Jak każde narzędzie, lufa zużywa się, przyczem zależnie od tego, czy jest ona używaną w sposób lepszy lub gorszy, zużycie występuje wolniej lub szybciej... *Nie możemy uniemożliwić zużycia, gdyż jest ono nieuniknionem, możemy jednak opóźnić je*".

Mjr. Campana [2]) nazywa okres służby lufy „życiem" (la vie des canons), mówiąc, że o ile gwałtowna zewnętrzna przyczyna nie uczyni odrazu działa niezdatnem do służby i naprawy, powodując w ten

[1]) mjr. Ott „Bouches à feu" (kurs Ecole Militaire de l'artillerie), str. 201 wyd. r. 1923.

[2]) mjr. Campana: „Les progrès de l'artillerie. — L'artillerie française pendant la guerre de 1914—1918", str. 6—7 i 23.

sposób „śmierć" jego, to dobrze skonstruowane działo zużywa się stopniowo i jego „życie" może być przedłużone przez odpowiednie zabiegi; podobne określenia przenoszą nas odrazu niejako w świat istot żyjących. Sowiecki pisarz Jakowlew [3]) posuwa się w tym względzie jeszcze dalej, mówiąc co następuje: „Z istoty zjawisk wynika, że każde działo można porównać z organizmem, mającym ogromny temperament... Natury nerwowe, obdarzone dużym temperamentem mają skłonność do chorób na tle sklerotycznem; skleroza w dziale wyraża się w tem, iż jego jedyna arterja — powierzchnia przewodu lufy — z biegiem czasu staje się nadzwyczaj twardą... Stwardnieniu powierzchnościowej warstwy przewodu towarzyszy kruchość i utrata elastyczności, co prowadzi początkowo do powstawania siateczki drobnych szczelinek na powierzchni metalu, następnie zaś — do znanego powszechnie zjawiska przepalania przewodu z wynikającą stąd stratą celności". Ta analogja również więc związana jest z pojęciami zjawisk nieuniknionych.

Jeżeli będziemy rozumieli pod „zużyciem" lufy zespół *nieuniknionych* zjawisk, wynikających z faktu używania lufy do strzelania, i będziemy ograniczali się do zjawisk zachodzących w jej przewodzie, to musimy określić zużycie, jako *zespół uszkodzeń (dégradations), wzgl. zmian, które zjawiają się w przewodzie lufy na skutek oddania pewnej ilości strzałów* [4]); tak określone pojęcie zużycia nie jest związane, ani z przyczyną uszkodzeń wzgl. zmian ,ani z ich istotą, ani z ich kształtem [5]).

2. Przebieg zjawiska zużywania się lufy działowej [6]).

Naogół stwierdzamy w przewodzie po oddaniu pewnej liczby strzałów zwiększenie średnicy przewodu, które — osiagając swą największą wartość w okolicy stożka przejściowego i na początku części gwintowanej — zmniejsza się następnie, w miarę gdy oddalamy się od komory zamkowej, osiągając swą wartość najmniejszą na odległości od 20 do 50 cm od początku gwintów (względnie po przebiegu około 15 kalibrów); na pewnej odległości od wylotu stwierdzamy

---

[3]) I. Jakowlew. — Wojna i Tiechnika Nr. 5 r. 1928, str. 50—51 — artykuł p. t.: „O zapasie procznosti orudij" — patrz rec. Przegląd Artyl. Nr. 1, tom VIII (styczeń 1929), str. 86—87.

[4]) mjr. Ott — loc. cit. str. 203.

[5]) por. artykuł inż. Letang: „Sur l'usure des bouches à feu". Mémorial de l'artillerie française; 4 zeszyt kwartalny 1922 r. str. 1014.

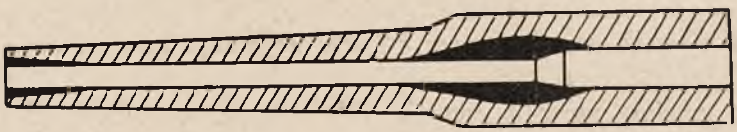
[6]) według inż. Létang loc. cit. str. 1014 — 1016, mjr. Ott loc. cit. str. 203—205, mjr. Campana loc. cit. str. 36 — 42.

znowu znaczniejsze, lecz mniejsze niż na początku, zwiększenie średnicy przewodu, wyrażające się głównie w zmniejszeniu wysokości pól. Przewód otrzymuje więc kształt wskazany schematycznie na rys. 1.

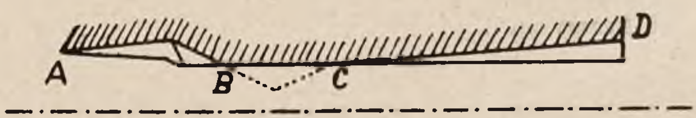
Profil wnętrza lufy zużytej może być przedstawiony przez rys. 2, na którym rozróżniamy miejsca następujące:

1. *AB* — bardzo znaczne zużycie, które może dochodzić do 3 lub 4 mm;
2. *BC* — nieznaczne zużycie;
3. *CD* — zużycie (głównie pól) zwiększające się w miarę zbliżania się ku wylotowi; wartość zużycia wynosi tu około 0,1 mm, przyczem niejednokrotnie zaznacza się mniej lub więcej wyraźna owalizacja otworu wylotowego.

Jako konkretny przykład wyników pomiarów, podajemy na rys. 3 krzywą zużycia średnicowego pól, jednej z luf francuskich a. p.



Rys. 1.



Rys. 2.

75 mm, wz. 1897, w której zużycie wynosiło 0,35 mm na początku części gwintowanej.

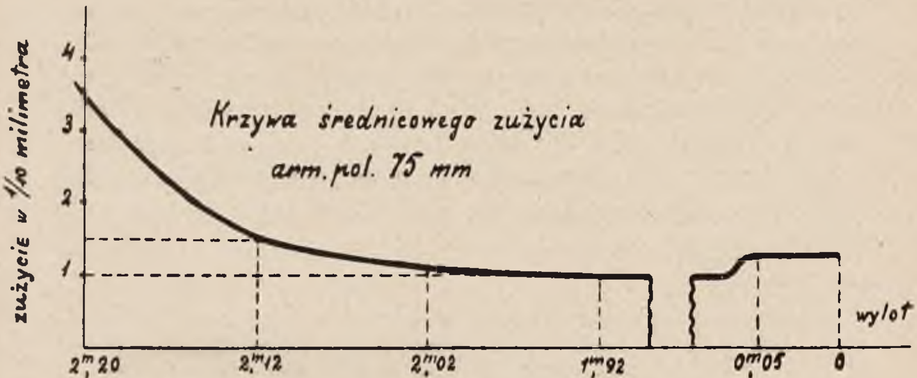
Zużycie dna brózd jest dwa do trzech razy mniejsze od zużycia pól; osiąga ono swą wartość największą na początku części gwintowanej, poczem szybko zmniejsza się aż do odległości 0,1 — 0,15 m, następnie zaś zachowuje bardzo nikłą wartość prawie aż do wylotu[7]).

Oprócz zmiany wymiarów przewodu, polegającej na zwiększeniu średnicy pól i brózd, zużycie lufy wyraża się jeszcze w jednem nadzwyczaj ważnem zjawisku, a mianowicie w zniekształceniu i przesu-

[7]) pomiary zużycia zarówno pól jak i brózd, uskuteczniane są przy pomocy powszechnie znanego przyrządu, zwanego gwiazdą ruchomą.

waniu się ku przodowi stożka przejściowego, co może być stwierdzone przy pomocy specjalnego przyrządu ze stożkiem ruchomym.

Co się tyczy wyglądu powierzchni przewodu, to systematyczne oględziny takowej na początku części gwintowanej i w stożku przejściowym wskazują, iż po oddaniu pewnej liczby strzałów, metal traci wygląd błyszczącej polerowanej powierzchni, która stopniowo staje



Rys. 3.

się coraz bardziej matową, co jest wynikiem powstawania szeregu plam, mniej lub więcej odległych jedna od drugiej i utworzonych przez drobniutkie szczelinki w metalu (rys. 4a), obecność których może być stwierdzona zapomocą odcisków gutaperkowych; pod wpływem następnych strzałów wyżej wymienione plamy matowe zwięk-



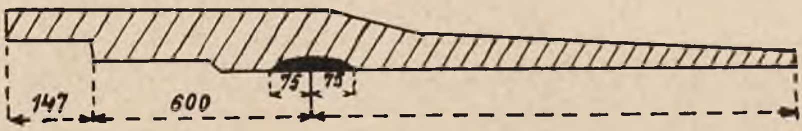
Rys. 4.

szają się, szczelinki łączą się ze sobą, tworząc mniej lub więcej gęstą siatkę (rys. 4b), na powierzchni wewnętrznej przewodu lufy; wreszcie po dalszych strzałach szczelinki *podłużne* stają się coraz bardziej wyraźne i przyjmują ostatecznie postać prawdziwych rys (stries), których ogólny kierunek jest równoległy do osi lufy (rys. 4c).

Zmiany w przewodzie, o których mowa w poprzednim ustępie

i które stanowią rzeczywiste uszkodzenie (dégradation) lufy, otrzymały nazwę *przepalania* czyli *erozji;* reasumując powyższe, powiedzieć możemy, że przepalanie przewodu występuje najsilniej na początku części gwintowanej i rozpowszechnia się na części przewodu, które pocisk przebiega z małą szybkością, ale pod działaniem bardzo dużego ciśnienia.

Vieille w następujący sposób charakteryzuje wspomniane zjawisko: „Wydaje się, iż punktem wyjściowym przepalania jest siatka szczelinek, pokrywających powierzchnię komory nabojowej w okolicach stożka przejściowego; głębokość i szerokość szczelinek równoległych do osi przewodu zwiększają się wraz z ilością oddanych strzałów, przyczem z ich połączenia wynika nowa powierzchnia przewodu, na której sterczy sieć wypukłych wysepek, będących jakby świadkami początkowej powierzchni..."



Rys. 5.

Szybkość powstawania tych erozyj i szczelinek oraz ich wielkość zależą, rzecz prosta, od typu działa; w szczególności powstają one bardzo powoli w haubicach, jakkolwiek we współczesnych haubicach mamy do czynienia ze stosunkowo znacznemi ciśnieniami i szybkościami początkowemi; prócz tego są one zawsze bardziej wyraźne w części górnej, niż dolnej przewodu.

W niektórych wypadkach przepalanie powstaje dopiero na pewnej odległości od stożka, odpowiadającej mniej więcej położeniu rzędnej najwyższego ciśnienia; zostało to zaobserwowane w jednej z luf dalekonośnych armat francuskich 105 mm wz. 1913, używanej do strzelania odbiorczego pocisków pod wysokiem ciśnieniem, przy użyciu prochów o znacznej żywości; w lufie tej stwierdzono obecność znacznego przepalenia na odległości około 2 kalibrów od położenia załadowania pocisku, jak wskazuje rys. 5; analogiczne wyniki otrzyman z jedną z luf 75 mm Schneidra, użytą do strzelania na wytrzymałość lufy, przy zastosowaniu balistytu włoskiego.

W ten sposób zjawiska normalnego zużycia lufy działowej przez fakt użycia jej do strzelania wyrażają się:

1) w zwiększeniu średnicy przewodu,

2) w zniekształceniu i przesuwaniu się ku przodowi stożka przejściowego,

3) w przepalaniu (erozji) metalu [8].

Zjawiska powyższe mają, jak zobaczymy następnie, wpływ ujemny na własności lufy i muszą być uznane za bezwzględnie szkodliwe; możemy przez racjonalne zabiegi opóźnić ich działanie, lecz nie możemy im zupełnie zapobiec; są one nieuniknione, przyczem gdy raz zaistnieją, to nie dają się już usunąć inaczej niż przez kapitalne odnowienie przewodu lufy (rurowanie wzgl. koszulkowanie).

Do zjawisk normalnego zużycia zwykle zalicza się też t. zw. zamiedzenie, które występuje w sposób najznaczniejszy w działach o dużej szybkości początkowej. Po pewnej ilości strzałów zauważamy w przewodzie obecność osadu metalowego o barwie, przypominającej kolor miedzi, — który tworzy się głównie na początku części gwintowanej, a prócz tego w mniejszym stopniu w części wylotowej; osad ten składa się z cząsteczek miedzi i stali(encuivrage et acièrage); osad ten może powodować znaczne zmniejszenie średnicy, osiągające czasami wartość 0,1 mm. Zamiedzanie, które już było pokrótce omawiane na łamach Przeglądu Artyleryjskiego [9]), nie może być wszakże, zdaniem mojem, uważane za równorzędne ze wskazanemi powyżej trzema zjawiskami normalnego zużycia lufy, a to dla przyczyn następujących:

a) zamiedzaniu możemy w mniej lub więcej skuteczny sposób zapobiec, a nawet prawie zupełnie uniknąć go przez stosowanie w amunicji stopu cyny z ołowiem, jako środka zapobiegawczego (anticuivrant);

b) istnieją różne środki dla usuwania zamiedzenia (mechaniczne, chemiczne, elektrolityczne) nie mówiąc już o najwięcej rozpowszechnionem (przynajmniej w artylerji francuskiej) użyciu wspomnianego w poprzednim punkcie stopu, jako odmiedzającego (désencuivrant), jakkolwiek niektórzy autorzy twierdzą, że zamiedzenie jest „choro-

---

[8]) w dalszym ciągu będziemy tu oznaczali odnośne zjawisko, używaną już niejednokrotnie w polskiej literaturze nazwą „przepalanie", jakkolwiek lepszą mogłaby się wydać nazwa „wyżeranie", oddająca zresztą lepiej sens francuskiego wyrazu „érosion".

[9]) p. artykuł mjr. art. franc. E. Morel: „O zamiedzaniu luf działowych". Przegląd Artyleryjski rok 1924 Nr 3 str. 98 — 102 oraz recenzje Prz. Artyl. Nr 5, tom IX (listopad 1929) str. 459 — 461.

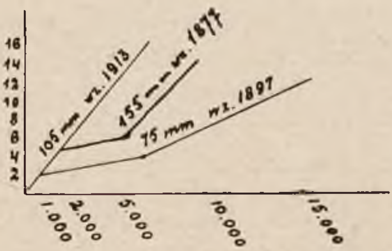
bą" nieuleczalną [10]) i że odmiedzenie może być raczej szkodliwem, niż pożytecznem [11]);

c) co do szkodliwości zamiedzenia również zdania są podzielone [12]).

Dla wskazanych powyżej przyczyn, mówiąc o normalnem zużyciu lufy nie będzimy brali pod uwagę zjawiska zamiedzania i w dalszym ciągu niniejszego artykułu będziemy mieli na względzie tylko trzy zjawiska poprzednio wskazane w pp. 1, 2 i 3.

3. Wpływ poszczególnych czynników na stopień i szybkość zużycia.

Jeżeli przyjmiemy, jak wskazuje inż. Létang [13]), za miarę zużycia powiększenie średnicy przewodu, zmierzone w części gwintowanej w odległości około 2 cm od początku gwintów, to — śledząc tak



Rys.6.

określone zużycie od chwili ukończenia wyrobu lufy przez cały przeciąg jej służby, stwierdzić można, co następuje:

1) zużycie wzrasta bardzo szybko w funkcji ilości oddanych strzałów, aż do pewnej określonej wartości;

2) zużycie wzrasta następnie w sposób powolniejszy w ciągu mniej lub więcej długiego okresu czasu, zależnie od typu działa;

3) następnie zużycie wzrasta w sposób szybszy aż do wycofania działa ze służby.

Rys. 6 wskazuje przybliżony przebieg zjawiska, w funkcji ilości oddanych strzałów, przyczem wskazane liczby strzałów, stanowią, rzecz prosta, średnie wyniki z danych obserwacji bezpośredniej.

---

[10]) mjr. Campana loc. cit. str. 44 — 46.

[11]) i [12]) Ing. en chef. R. Paquelier: „L'usure, l'encuivrage et le baguage des canons"—Mémorial de l'artillerie française—4 zeszyt kwartalny r. 1922 str. 1060.

[13]) inż. Létang — loc. cit. str. 1015—1016.

Co się tyczy wpływu innych czynników, inż. gł. franc. artylerji morskiej Paquelier [14]), formuje wnioski następujące:

a) zużycie wzrasta wraz z szybkością początkową;

b) zużycie wzrasta wraz z gęstością ładowania;

c) powyżej ciśnienia 2000 atmosfer zużycie nie stoi w bezpośrednim związku z ciśnieniem;

d) zużycie wzrasta z wraz z temperaturą spalania prochu [15]);

e) zużycie zwiększa się, gdy punkt topliwości metalu rury rdzeniowej obniża się;

f) dla jednego typu (modèle) artylerji zużycie wzrasta wraz z kalibrem;

g) dla danego kalibru w jednym i tym samym typie zużycie bywa zmienne dla różnych dział [16]).

Przypuszczać można, iż punkt g) niezależnie od przypadkowych cech samego działa, tłumaczyć należy przedewszystkiem stanem konserwacji i oszczędzania działa przy strzelaniu, do czego powrócimy jeszcze w dalszym ciągu (rozdział 6 „środki zaradcze").

4. Skutki zużycia.

Dopóki zwiększenie średnicy pól i brózd rozwija się normalnie i nie przeszkadza utworzeniu się i utrzymaniu zazębień (adents) w pierścieniu wiodącym, — ruch obrotowy pocisku jest zapewniony; lecz w miarę powiększania się zużycia, przestrzeń pomiędzy przewodem a pierścieniem wiodącym staje się coraz większą, zazębienia pierścienia nie są w stanie wypełnić brózd, a stąd powstają przerwy gazów, zmienne od jednego do drugiego strzału, a w wyniku tych zjawisk zmniejsza się szybkość początkowa oraz donośność i powiększa się rozrzut; wreszcie po przekroczeniu pewnej granicy zużycia, pocisk może wylatywać z lufy nie mając ruchu obrotowego.

---

[14]) mjr. Ott — loc. cit. str. 210—211.

[15]) prochy nitroglicerynowe powodują szybsze zużycie lufy, niż prochy nitrocelluzowe, te ostatnie zaś — niż prochy nitrogwanidynowe; prochy nitrogwanidynowe dają temperaturę spalenia około 1000°, podczas gdy nitroglicerynowe i nitrocellulozowe przeszło 2000°.

[16]) oprócz powyżej wskazanych czynników, wpływ których na rozpatrywane zjawisko zdaje się nie ulegać wątpliwości, inż. Paquelier podaje również dane następujące, które mają o wiele mniej bezwzględny charakter:

— zużycie jest mniej znaczne przy użyciu pocisków obciśniętych w łuskach;

— automatyczne pobielanie (Sn) lub pokrywanie ołowiem przewodu lufy przy każdym strzale, zdaje się zmniejszać zużycie;

— większe zawartości niklu w stali rury ułatwiają przepalanie(co do ostatniego punktu stwierdzić należy, że nie jest on dostatecznie sprecyzowany; należałoby oznaczyć pojęcie „większe zawartości", przez pewną normę procentową; zresztą co do wpływu niklu na przepalanie zdania są podzielone i sprawę tę należy uważać za otwartą).

niezbędnego dla zapewnienia stateczności na torze, i strzelanie staje się zupełnie anormalnem; działo traci w zupełności swą celność.

Przesuwanie się ku przodowi stożka przejściowego połączone jest z jego zniekształceniem (zmiana pochyłości tworzących stożka w stosunku do osi lufy), na skutek czego warunki załadowania pocisku, przedewszystkiem zaś gęstość ładowania ulegają zmianie, co odrazu nasuwa przypuszczenie, że będą zachodziły zmiany w donośności; doświadczenie potwierdza ten wniosek, wskazując, iż zachodzi zmniejszenie szybkości początkowej, i — co zatem idzie — donośności.

W ten sposób zużycie średnicy przewodu lufy i przesuwanie się stożka przejściowego wpływa, między innemi, na zmniejszenie się szybkości początkowej pocisku, która wobec tego nie odpowiada w działach częściowo zużytych, szybkości początkowej, wskazanej w tabelach strzelniczych, co zmusza do wprowadzenia w stosunku do dział jednej i tej samej baterji różnych poprawek dV_0 na szybkość początkową; najważniejszą przyczyną tej zmiany jest przesuwanie się stożka przejściowego, którego pomiary są zasadniczą rzeczą w ustalaniu właściwości dział; odnośna metoda była już w Przeglądzie Art. szczegółowo omówioną [17]). Francuska instrukcja z dn. 17 grudna 1918 r. zaznacza, że zmniejszenie szybkości początkowej zwiększa się wraz z liczbą oddanych przez działo strzałów, lecz nie mamy równania, któreby z dostateczną praktyczną dokładnością określało stosunek pomiędzy stopniem zużycia działa a ilością oddanych strzałów [18]); dla dział jednego i tego samego wzoru zużycie, odpowiadające tej samej liczbie strzałów, zmienia się zależnie od staranności konserwacji lufy, a zwłaszcza sposobu prowadzenia ognia. W miarę powiększania się zużycia, zmniejsza się donośność; począwszy od pewnego stopnia zużycia celność działa zmniejsza się raptownie i strzelanie staje się anormalnem; ta granica stanowi więc zużycie stanowiące o wycofaniu lufy ze służby; wyraża się ono pewnemi granicami dopuszczalnemi dla przesunięcia się stożka i dla zwiększenia średnicy przewodu; przekroczenie jednej lub drugiej z tych granic wywołuje wycofanie lufy; doświadczenia wojenne pozwoliły określić te granice w stosunku do pewnej ilości dział. Najwyższe zużycie średnicy przewodu odpowiada minimalnej głębokości, którą winny posia-

---

[17]) p. artykuł por. W. Polińskiego: „Ustalanie właściwości dział" — Przegl. Artyl. rok 1923, Nr.Nr. 2 — 3, str. 44 — 49; Nr. 4, str. 33 — 36.

[18]) rozważania teoretyczne, na mocy których starano się ustalić wzór na długotrwałość lufy, podane są w recenzji ppłk. W. Vorbrodta o odnośnej pracy kpt. niem. Justrowa: p. Przegl. Art. rok 1924, NrNr 3 i 4, str. 119—125 i 169—174.

dać brózdy; wynosi ono $^7/_{10}$ lub $^8/_{10}$ różnicy między średnicami pola i dna brózdy, obliczonej dla działa nowego. Poniższa tablica podaje wg. mjr. Campana wartości graniczne dla zużycia średnicy przewodu i dla przesunięcia stożka oraz średnie ilości strzałów, odpowiadające tym wartościom w poszczególnych działach:

Wzór działa	*z* zużycie średnicowe w dziesiątych milimetra	*p* przesunięcie stożka w milimetrach	średnia ilości strzałów	Uwagi
a. p. 75 mm . . .	7	7	10.000	nie dotyczy granatu wz. 1917, który daje większe zużycie.
a. d. 105 mm Schneider	16	15	8.000	
hb. c. 155 mm Schn.	16		8.000	
a. d. 155 mm Filloux (G. P. F.)	20	150	3800 — 4000	

Wskazane powyżej ilości strzałów nie mogą być wszakże uważane za cyfry absolutne; i tak, niektóre lufy 75 mm i 105 mm, zrobione z bardzo dobrej stali, dobrze konserwowane i oszczędzane przy strzelaniu, oddały do 20 000 strzałów, nie dając niedopuszczalnego rozrzutu [19]).

Skądinąd jest rzeczą zasadniczą, aby materjał mobilizacyjny składał się z luf nowych lub mało zużytych ,aby długotrwałość jego w czasie wojny była możliwie największą; prócz tego w czasie działań wojennych trzeba przewidywać zamianę luf zużytych; prowadzi to nas do określenia norm klasyfikacji w czasie pokoju, celem obniżenia klasy lufy, zanim osiągnie ona zużycie, stanowiące o wycofaniu jej z użycia, jako niezdatnej do strzału; lufy muszą być w ten sposób klasyfikowane w czasie pokoju, aby być wyłączone ze sprzętu mob. i służyć tylko do ćwiczeń, — a w czasie wojny, aby zawczasu uprzedzić formacje o przybliżonej ilości strzałów, które mogą one jeszcze oddać w wymagalnych warunkach celności, i pozwolić organom zaopatrującym porobić zawczasu odnośne obstalunki. Normy obniżenia klasy (deklasacji) nie stanowią więc o nieużyteczności lufy,

[19]) admiralicja angielska przyjmuje, że działo może oddać ilość strzałów *N* określoną ze wzoru:

$$N = \frac{p^{1,7}}{v_0^2\, a\, (a - z)}$$

gdzie *p* oznacza najwyższe ciśnienie, v_0 — szybkość początkową, *a* — kaliber *z* — wartość zmienną, zależną od typu.

ale o ograniczonej jej zdolności do strzału; odnośne cyfry zużycia średnicowego *z*, i przesunięcia stożka *p*, według norm francuskich wynoszą dla dział: 75 mm — $z = 4$; $p = 4{,}5$; a. d. 105 mm — $z = 10$; $p = 6$; hb. c. 155 mm — $z = 10$; a. d. 155 mm G. P. F. — $z = 15$; $p = 80$; średnie cyfry odnośnej ilości strzałów wynoszą dla 75 mm — 3000; dla a. d. 105 mm — 2000; dla hb. c. 155 mm — 2000; dla a. d. 155 mm G. P. F. — 1000.

Co się tyczy innych skutków przepalania, to — biorąc pod uwagę, że zjawisko to występuje najintensywniej na początku części gwintowanej — możemy oczekiwać znacznych uszkodzeń początku gwintów, który ma specjalne znaczenie z powodu tego, iż te właśnie części początkowe powinny spowodować stosunkowo łagodne wcinanie się pierścienia wiodącego w gwinty, gdy pocisk posiada jeszcze nieznaczną szybkość; gdyby początkowa część gwintów zniknęła na dość znacznej przestrzeni, możnaby się obawiać, że pocisk, posiadając z początku tylko ruch postępowy, uderzy pierścieniem o gwinty, mając już znaczną szybkość postępową, co wywołać może ścięcie pierścienia, a nawet — przez raptowne zmniejszenie szybkości — przedwczesne działanie zapalnika i wybuch pocisku w lufie. Takie zanikanie gwintów (związane zresztą ze sprawą gatunku użytego prochu) występowało zwłaszcza wyraźnie w rosyjskich a. p. 3", to też rosyjskie przepisy ustalały stopień tego zjawiska, który mógł być uważany za dopuszczalny, a mianowicie odnośne działa nie podlegały wycofaniu dopóty, dopóki pozostawała przynajmniej połowa gwintów na przestrzeni 1,5 cala.

Co się tyczy bezpośredniego wpływu przepalania na wytrzymałość lufy działowej, to jak wykazały badania dokonane we Włoszech przez dr. Piantanida [20]), zjawisko to nie przedstawia pod tym względem bezpośredniego niebezpieczeństwa, — jednak mjr. Campana [21]), zaznacza, iż linje erozji mogą stać się zaczątkiem głębszych szczelin i pęknięć, pisząc co następuje: „Linje erozji są mniej lub więcej długie i szerokie; niektóre z nich są zaczątkiem szczelin, które należy bacznie obserwować (dozorować), gdyż w końcu osiągają one znaczną głębokość na przestrzeni kilku centymetrów i zmniejszają wytrzymałość. I tak stwierdzono, że przy powstawaniu pęknięć po rozdęciu lufy, pęknięcia te idą wzdłuż linij przepalania. Takie szczeliny są zresztą rzeczą bardzo rzadką".

---

[20]) p. Przegl. Art. styczeń 1928, str. 51, wzgl. Bibljoteka Przegl. Art. Nr. 5. (Wytrzymałość luf działowych) str. 229.

[21]) mjr. Campana — loc. cit. str. 39.

5. Przyczyny zużycia.

Jako bezpośrednie przyczyny, wywołujące zużycie, występują: tarcie pocisku o ścianki przewodu oraz działanie gazów prochowych.

Przypuszczać można, że powiększenie średnicy przewodu w części wylotowej jest do zawdzięczenia głównie tarciu pocisku, co tłumaczyć może również wypadki owalizacji otworu wylotowego, jeżeli weźmiemy pod uwagę zjawiska towarzyszące chwili, gdy pocisk opuszcza przewód i będące w pewnym związku z kątem podrzutu. Zjawisko to w działach o lufie bardzo długiej (np. w artylerji morskiej lub art. ciężkiej o wielkiej mocy) może być jeszcze bardziej uwypuklone z powodu sprężystego wyginania się części wylotowej, co inż. gen. franc. artylerji morskiej Bourgoin [22]) tłumaczy w sposób następujący: w działach, o których mowa, część wylotowa lufy wystaje daleko poza czopy i odgrywa rolę jakby belki, osadzonej w podporze na jednym swym końcu, koniec przeciwległy której (a więc w danym razie wylot lufy) przyjmuje pewną strzałkę ugięcia sprężystego; gdy pocisk przechodzi z dużą szybkością przez część wylotową lufy, wyprostowuje on raptownie tę część wygiętą, poczem koniec lufy zaczyna drgać, jak kamerton; pocisk, pociągnięty w tym ruchu, reaguje z powodu swej bezwładności w tym kierunku, i zużywa wylot przez tarcie; jako przykład zacytować można działo morskie 340 mm o długości lufy równej 45 kalibrom, którego część wylotowa wystaje na 12 metrów poza czopy; ugięcie naturalne lufy w stanie spoczynku wynosi 10 mm; zespół przy strzale może dawać 140 drgań na sekundę; reakcja bezwładności pocisku wynosi tu około 455 tonn, co odpowiada naciskowi na ścianki przewodu około 45 kg mm^2.

Co się tyczy sposobu wzgl. mechanizmu fizyko-chemicznego działania gazów prochowych na ścianki przewodu lufy, w wyniku czego powstaje przepalanie (erozja), to sprawą tą zajmowało się wielu wybitnych uczonych, w wyniku czego powstało kilka do pewnego stopnia sprzecznych ze sobą teoryj, usiłujących dać wyjaśnienie wspomnianego zjawiska; teorje te były już omawiane i zestawiane w Przeglądzie Artyleryjskim [23]); zaznaczymy tu, że we Francji naj-

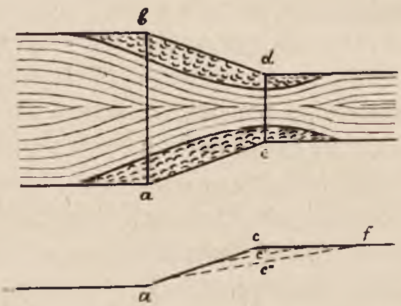
---

22) Mémoire sur l'usure des bouches à feu — Mémorial d'artillerie navale 1913 (2 zeszyt).

23) p. artykuł płk. Jodko: „Przepalanie luf broni palnej" Przegl.Art. rok 1925, str. 253 — 261 i 288 — 300 oraz artykuł ppłk. inż. Jakowskiego „Stal na lufy działowe w świetle literatury francuskiej", Wiad. Techn.-Art. Nr 5 (kwiecień 1930) str. 545 — 547.

większem wzięciem cieszą się teorja Vieille'a (przerywanie się rozgrzanych gazów prochowych przez otworki, powstające między pierścieniem wiodącym a powierzchnią przewodu — w związku z cementacją i zahartowaniem, któremu poddana jest powierzchnia przewodu pod wpływem gazów prochowych, zawierających węgiel) oraz teorja Charbonnier (tarcie i odrywanie cząsteczek metalu z powierzchni przewodu przez cząsteczki gazowe ,tworzące strumień, ulegający dławieniu w okolicy stożka przejściowego, i wytwarzające na skutek tego wiry).

Zestawiając te dwie teorje, mjr. Campana [24]) tłumaczy w następujący poglądowy sposób zjawisko zużycia w okolicy stożka przejściowego i przesuwanie się tego ostatniego ku przodowi: masa ga-



Rys. 7.

zowa gwałtownie rozpręża się między zamkiem a pociskiem; pędząc za pociskiem na kształt wartkiego potoku (torrent impétueux), tworzy ona przy każdej zmianie przekroju zjawisko znane w hydraulice pod nazwą: dławienie strumienia; cząsteczki gazowe oraz szczątki ciał stałych wpadają z ogromną szybkością w przestrzeń, powstałą między strumieniem gazowym a ściankami przewodu i uderzają w te ostatnie, tworząc nadzwyczaj gwałtowne wiry (rys. 7); te uderzenia, które zachodzą przez cały czas przebiegu pocisku, działają na ścianki przegrzane, stwardniałe i porysowane, odrywają cząsteczki metalu, porywane następnie przez prąd gazowy; łącznie z tarciem pierścienia wiodącego, takie odrywanie cząsteczek metalu dąży do ścinania kątów *c* i *d* oraz do przekształcenia linji łamanej *acf* w linję krzywą i obniżenia jej wierzchołka według profilu *ac'f*, *ac''f* i t .d.

---

[24]) mjr. Campana — loc. cit. str. 39 — 40.

Inż. Letang [25]), wychodząc z równań balistyki wewnętrznej w zastosowaniu do spalania prochu w naczyniu zamkniętem, podał teorję, w której przedstawia mechanizm przepalania, biorąc za podstawę ilość i szybkość drobin gazowych, pod wpływem uderzeń których może zachodzić oderwanie cząsteczek metalu ze ścianki przewodu, które to zjawisko jest, rzecz prosta, zależne od żywej siły danej drobiny gazowej oraz od siły, która utrzymuje cząsteczkę metalu w miejscu; ta ostatnia siła zależną jest od temperatury metalu, od naprężeń powierzchnościowych oraz od stanu powierzchni.

W wyniku swych rozważań, ograniczając się specjalnie do zjawisk, zachodzących na początku części gwintowanej, autor rozróżnia trzy okresy zużywania się lufy; w ciągu pierwszego — zużycie powodowane jest przez temperaturę, wywołaną przez przeciskanie pierścienia wiodącego; gdy kąty stożka przejściowego zostają ścięte, rozpoczyna się drugi okres, w ciągu którego zużycie rozwija się dalej, ale w tempie powolniejszem, przyczem zachodzi powierzchowna cementacja metalu ścianek przewodu, poczem, na skutek coraz znaczniejszych szczelinek w powierzchni nacementowanej, rozpoczyna się okres trzeci, prowadzący do deklasacji lufy.

6. Środki zaradcze.

Jak wynika z poprzednich przesłanek, zużycie będzie tem większe, im ilość ciepła przekazana metalowi lufy będzie większa; jeżeli nie możemy uniknąć zużycia, to w każdym bądź razie opóźnienie tego zjawiska daje się osiągnąć, przez stosowanie wszelkich środków, mających na celu zmniejszenie wzrostu temperatury przy strzale. Ilość wydzielanego ciepła wzrasta w prostym stosunku do gęstości ładowania, wzrasta przy użyciu prochu bardziej progresywnego o mniejszej żywości oraz — do pewnego stopnia — wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia; jeżeli wszakże idzie o otrzymanie coraz większej mocy, a więc między innemi, coraz większej szybkości początkowej, konstruktor najczęściej nie będzie mógł ograniczać wyżej wskazanych trzech czynników i będzie musiał poświęcić sprawie żądanej mocy kwestję wolniejszego zużycia przewodu; jednakowoż racjonalne projektowanie wewnętrznych kształtów lufy łącznie z zewnętrznemi

---

[25]) Ing. G. Letang: „Memoire sur la combustion des poudres en vase clos" — Memorial de l'artillerie française, 4 zeszyt kwartalny 1922 r., str. 955—998 i cytowany już artykuł tegoż autora „Sur l'usure des bouches à feu" — ten sam zeszyt str. 1017 — 1035; w tym samym zeszycie znajdujemy prócz tego odczyt inż. gen. Charbonnier, reasumujący teorję tego ostatniego, p. t. „La veine gazeuse", str. 1001 — 1008.

kształtami pocisku, może wpływać na obniżenie temperatury; i tak, inż. Létang, mówiąc o pierwszym okresie zużycia, wspomnianym w ostatnim ustępie poprzedniego rozdziału, wskazuje, iż obniżenie temperatury byłoby możliwe przez zmniejszenie objętości przesilenia (volume de forcement) oraz powiększenie wysokości przesilenia (hauteur de forcement); jednakowoż praktyczne urzeczywistnienie tych środków nie wydaje się możliwem, gdyż dotyczące wymiary są ustalane przez inne względy, które nie mogą być odrzucone; również należyte wykończenie (ostatnie stadjum obróbki) wnętrza przewodu może mieć wydatny wpływ na ilości wydzielającego się ciepła, i co zatem idzie, na szybkość zużycia.

Co się tyczy rodzaju użytego prochu, to konstruktor również będzie częstokroć skrępowany w swym wyborze przez względy zasadnicze, — wydaje się, że wszakże technika prochów mogłaby mieć tu duże pole do badań i doświadczeń, gdyż możny wpływ prochu na szybkość zużycia nie ulega wątpliwości; można zadać sobie pytanie, czy nie należałoby badań nad wpływem prochu połączyć z badaniami, dotyczącemi odnośnego wpływu gatunku metalu, celem określenia najwygodniejszej z tego punktu widzenia kombinacji prochu i rodzaju metalu.

Celem obniżenia temperatury były również proponowane przez inż. gen. Bourgoin środki dla ochładzania gazów prochowych, ale i ten sposób spotkał się z pewnemi objekcjami.

Jeżeli zjawiska cementacji mają decydujący wpływ na przebieg zużycia, to — jak zaznacza inż. Létang — wydaje się, iż przez powstrzymanie a przynajmniej przez opóźnienie powierzchownej cementacji możnaby przedłużyć życie lufy i uniknąć rozpoczęcia wspomnianego uprzednio trzeciego okresu zużycia; odnośny środek inż. Létang widziałby w ochronnem powlekaniu powierzchni przewodu zapomocą miedzi lub innego metalu; miedź mogłaby wszakże być uważana za niewskazaną, ze względu na zjawisko zamiedzania, to też inż. Létang proponuje użycie metalu o punkcie topliwości niższym, niż miedź, np. glin lub cyna, co miałoby również swe znaczenie, jako srodek przeciw zamiedzaniu; sposób ten, którego praktyczne znaczenie byłoby specjalnie uwypuklone w zastosowaniu do dział wielkich kalibrów, nie został jednak praktycznie zbadany w czasie wojny.

Wreszcie konstrukcja lufy powinna być tego rodzaju, aby „odnowienie" jej po zużyciu przewodu powodowało stratę przez wyrzucenie na łom możliwie małej ilości metalu, — a z tego tytułu na specjalną uwagę zasługuje zastosowanie koszulek wymiennych, w któ-

rych osiągnięcie bardzo wysokiej granicy sprężystości uzyskane jest drogą samowzmocnienia.

Powyższe środki zaradcze, wykorzystanie których może wzgl. mogłoby należeć do konstruktora sprzętu wzgl. amunicji, nie wykluczają jednak konieczności zabiegów i środków ostrożności, które winny być stosowane przez użytkowników sprzętu, a więc przez personel bateryj, celem użycia dział w ten sposób, aby służba lufy sama przez się nie ułatwiała i nie przyśpieszała zużycia; środki te również mają na celu przedewszystkiem zapobiec szybkiemu i intensywnemu rozgrzewaniu się lufy przy strzelaniu; zostały one uświęcone przez praktykę wielkiej wojny i przeszły następnie do instrukcyj i regulaminów powojennych francuskich w postaci przepisów, które streścić można w sposób następujący:

a) prowadzić ogień w tempie możliwie najpowolniejszem i nie przekraczać najwyższej szybkości ognia, dopuszczalnej dla dział danego typu i określonej w regulaminie dla tych dział; w ten sposób większa część ciepła przejętego przez lufę w chwili strzału ma czas rozproszyć się przez przewodnictwo i promieniowanie;

b) stosować *w każdym wypadku* najsłabszy ładunek prochowy, pozwalający na wykonanie przez działo przepisanego zadania, — gdyż im mniejszy jest ładunek prochowy, tem mniejszy jest wzrost temperatury;

c) możliwie najczęściej przemywać przewód wodą i smarować go przynajmniej na pewnej długości — co 1, 2, 3 lub 4 strzały, zależnie od typu działa, — przyczem woda ochładza lufę, smarowanie zaś zmniejsza tarcie, a zatem i nagrzewanie się lufy;

d) smarować część przednią pierścienia wiodącego pocisku;

e) pozostawiać kolejno w baterji po jednem dziale w stanie spoczynku, podczas którego odnośna lufa winna być przemywana wodą i smarowana.

Rzecz prosta, iż przeprowadzanie w praktyce tych przepisów musi być podporządkowane względom taktycznym, które mogą wymagać ognia bardzo gęstego, który nie może być osłabiony pod żadnym pretekstem, — jednak celowe i racjonalne użycie czterech dział baterji, zawsze daje możność wypełnienia zadania, nie czyniąc ofiary ze sprzętu, co może być dopuszczalne tylko w zupełnie wyjątkowych wypadkach, roztrząsanie których wychodzi zupełnie poza ramy artykułu o charakterze technicznym.

Zakończenie.

Jeżeli mamy do czynienia z ustalonym typem i wzorem działa i amunicji, to zachowanie lufy przez czas najdłuższy w stanie zdatnym do służby, zależne jest zasadniczo tylko od staranności i celowości czynności obsługi, — przyczem praktyka wielkiej wojny pozwoliła ustalić zasadnicze wytyczne w tym względzie.

Natomiast jeżeli wchodzą tu w grę rozważania, dotyczące zaprojektowania nowego działa, wyboru najbardziej odpowiednich surowców i najbardziej celowego systemu konstrukcji, to odnośna sprawa powinna wymagać wszechstronnego uprzedniego zbadania sprawy przez techników, nie zasklepiających się w jednej tylko specjalności, — współpracy konstruktora, balistyka, prochowca i metalurga, poczem dopiero może być powzięta decyzja przez czynnik, kompetentnie koncentrujący w swych rękach odnośne sprawy linji i techniki, — przy świadomem uwzględnieniu przedewszystkiem żądań linji; jest to tem trudniejsze, że brak jest wielu jeszcze zupełnie pewnych danych technicznych, dotyczących łącznego wpływu poszczególnych czynników na szybkość zużycia.

Inż. BERGER EUGENJUSZ.

O TLENKU WĘGLA

Tlenek węgla, znany powszechnie pod nazwą c z a d u, należy do liczby gazów trujących.

Jakkolwiek tlenek węgla nie znalazł w czasie wojny zastosowania, jako gaz bojowy, to jednak często był napotykany na polach bitew w ilościach tak poważnych, że był powodem zatruć śmiertelnych.

Tlenek węgla posiada dużo cech takich, jakie wymagane są od t. zw. „idealnego" gazu bojowego. Jest on mianowicie bezbarwny, nie posiada żadnych własności drażniących i jest przytem bardzo tani.

Jedynie to, że jest lżejszy od powietrza, wobec czego ulatnia się szybko, i że nie może być stosowany w stanie ciekłym w pociskach, było powodem, że czad nie znalazł się w liczbie gazów bojowych.

Tlenek węgla jest wprawdzie znacznie mniej trujący od wielu innych gazów, jednak wspomniany wyżej brak własności trujących, jak również zdolność nagromadzania się w organizmie, czynią zeń jeden z najniebezpieczniejszych gazów, tembardziej, że zwykły pochłaniacz powszechnie stosowanej maski przeciwgazowej nie chroni przed działaniem jego.

Od czasu, gdy człowiek zaczął opalać mieszkania drzewem, był on narażony na działanie tlenku węgla (czadu), jako produktu niecałkowitego spalania substancyj, zawierających węgiel. Już za czasów Arystotelesa (384—322 p. Nar. Chr.) wiedziano, że wdychanie produktów, powstających przy spalaniu węgla drzewnego, może spowodować śmierć. Otrzymywanie dymów jadowitych, zawierających czad, znane było również Rzymianom, którzy do uśmiercania ludzi stosowali spalanie mokrego drzewa w nieprzewietrzanych pomieszczeniach.

W obecnych czasach, gdy ludzkość ma coraz częściej do czynienia z czadem, zapoznanie się z jego własnościami, zastosowaniem, występowaniem i t. p. jest ze wszech miar wskazane.

Własności fizyczne i chemiczne tlenku węgla.

Tlenek węgla został odkryty w r. 1776 przez Lasonne'a i niezależnie w r. 1796 przez Priestley'a.

Clement i Desormes ustalili w r. 1801 chemiczny skład jego, — CO.

W stanie skroplonym został on otrzymany w r. 1877 przez Cailletet'a.

W zwykłych warunkach tlenek węgla, CO, jest gazem bezbarwnym, bez zapachu i smaku. Gęstość jego, w stosunku do powietrza, $D_{760} = 0{,}9673$. Jeden litr tlenku węgla waży w 0° C i 760 mm ciśn. 1,2506 gr, zatem w warunkach tych 1 kg tlenku węgla zajmuje objętość 800 litrów.

Jest to gaz palny, a mieszaniny jego z powietrzem, o zawartości od 15 do 73% CO są wybuchowe.

Tlenek węgla posiada szereg własności wspólnych z azotem, przedewszystkiem ten sam ciężar cząsteczkowy (28).

W wodzie, podobnie jak azot, rozpuszcza się mało. Temperatura krytyczna tlenku węgla (powyżej której nie może on być skroplony) wynosi — 139,5° C (dla azotu — 146° C), odpowiadające tej temperaturze ciśnienie krytyczne wynosi 35,5 at (dla azotu — 35 at).

Skroplony tlenek węgla jest cieczą bezbarwną o p. wrzenia — —190° C, zestalony CO topi się w —207° C.

Tlenek węgla jest związkiem bardzo trwałym. Rozkłada się dopiero powyżej 1650° C na węgiel i dwutlenek węgla. Pod wpływem katalitycznego działania metali i ich tlenków ulega rozkładowi w temperaturze niższej.

Z niklem tlenek węgla łączy się na karbonylek niklu, — $Ni(CO)_4$, ciecz o ostrym nieprzyjemnym zapachu, o p. wrzenia 43° C. W wyższej temperaturze następuje rozkład karbonylku niklu. Na powyższych reakcjach oparta jest metoda przemysłowa otrzymywania czystego niklu.

Pięciokarbonylek żelaza, — $Fe(CO)_5$, znalazł pod nazwą „m o t a l i n u" zastosowanie, jako domieszka przeciwstukowa do paliwa silników wybuchowych.

Działanie fizjologiczne tlenku węgla.

Główny składnik czerwonych ciałek krwi zwierząt ciepłokrwistych, — hemoglobina, łączy się z łatwością z wieloma gazami. Przy wdychaniu powietrza do płuc powstaje związek hemoglobiny z tlenem, t. zw. oksyhemoglobina. Związany w ten sposób tlen zostaje wraz z krwią rozprowadzony po całym organizmie. Zabarwienie czerwone oksyhemoglobiny jest jaśniejsze, niż hemoglobiny. Różnią się od siebie również ich widma absorbcyjne.

Oksyhemoglobina jest związkiem nietrwałym, łatwo odszczepiającym tlen; może być zredukowana zapomocą roztworu (żółtego) siarczku amonowego.

Znacznie trwalszy jest związek hemoglobiny z tlenkiem węgla, — karboksyhemoglobina, której już siarczek amonowy nie rozkłada.

Powinowactwo chemiczne tlenku węgla do hemoglobiny jest 210 do 300 razy większe, niż powinowactwo tlenu. Znaczy to, że przy dłuższem wdychaniu mieszaniny, zawierającej na 250 cz. tlenu jedną część tlenku węgla, z danej ilości hemoglobiny powstają jednakowe ilości oksyhemoglobiny i karboksyhemoglobiny.

Roztwory karboksyhemoglobiny różnią się od roztworów oksyhemoglobiny charakterystyczną wiśniowo-czerwoną barwą; tłumaczy się tem dziwnie świeży wygląd cery twarzy ludzi, zatrutych czadem.

Obecne w powietrzu drobne ilości tlenku węgla, łączą się wciąż z hemoglobiną, wiążąc stopniowo coraz większe jej ilości. Utworzona karboksyhemoglobina nie przyłącza więcej tlenu, prowadzi to w wyniku do niedotlenności krwi (anoksemji) i uduszenia wskutek braku tlenu.

Ilość pochłoniętego tlenku węgla zależy od zawartości jego w powietrzu.

Według Küfnera i Külza zależność ta jest następująca:

Zawartość CO w powietrzu w procentach objętość	Maksymalna ilość związanej hemoglobiny krwi
0,041%	39%
0,11%	50,6%
0,25%	60%

Działanie trujące czadu zaczyna się już, poczynając od zawartości 0,03 na 100 (3:10 000). Stężenie niebezpieczne wynosi 0,16%, stężenia zaś od 0,2 do 0,4% mogą spowodować śmierć.

Gdy 20% hemoglobiny krwi zostało nasyconych tlenkiem węgla, występują objawy zawrotu głowy i utrudnionego oddechu, przy nasyceniu 50% hemoglobiny występuje omdlenie, a po związaniu 60—80% hemoglobiny — śmiertelne zatrucie [1]). To ostatnie może mieć miejsce po przebywaniu w ciągu 30 do 60 minut w atmosferze, zawierającej od 0,3 do 0,4% CO. Zatrucie, jak już wspomniano, jest następstwem braku tlenu, który odgrywa w zjawiskach życiowych rolę pierwszorzędną, dostarczając organizmowi energji cieplnej drogą spalania szkodliwych produktów przemiany materji.

Nie można jednak uważać zatrucia czadem, jako objawu uduszenia, wywołanego wyłącznie brakiem tlenu, jak to ma miejsce w razie takiego braku, spowodowanego innemi przyczynami. W wypadku zatrucia czadem, uszkodzone zostają z powodu braku tlenu najsubtelniejsze rozgałęzienia naczyń krwionośnych, — naczynia włoskowate, — występuje ich zwiotczenie i zjawisko wysięku z nich krwi i cieczy tkankowej. Według niektórych autorów, pod wpływem tlenku węgla zachodzi rozkład czerwonych ciałek krwi, przyczem jakoby powstają zakrzepy.

Stwierdzone zostało również bezpośrednie działanie tlenku węgla na układ nerwowy. Z a n g g e r (Zürich) stwierdził, że w wypadkach ostrej niedokrwistości już przy nasyceniu 20% hemoglobiny czadem może nastąpić śmierć.

Widzimy zatem, że zawartości w powietrzu tlenku węgla w granicach od 0,03 do 0,3% mogą być powodem zatrucia ludzi; łatwiej ulegają zatruciu niedokrwiści, wykonywujący ciężką pracę, dzieci, starcy i pijani, aniżeli ludzie zdrowi, wypoczęci. W zgodzie z powyższem pozostaje często obserwowane zjawisko, że ludzie śpiący, oddychający powietrzem, zatrutem CO, rozporządzają w stanie spoczynku dostateczną jeszcze ilością tlenu do podtrzymania procesów życiowych, lecz tracą natychmiast przytomność, gdy po przebudzeniu zrobią kilka kroków: ten bowiem, pozornie nic nie znaczący wysiłek jest w stanie wyczerpać nieznaczny zapas tlenu, posiadany przez organizm.

Jako pierwsze objawy zatrucia czadem obserwowane są: zawroty głowy, ból głowy, ściskanie w skroniach, dzwonienie w uszach, osłabienie w nogach i odrętwienie.

---

[1]) Są to oczywiście wartości przeciętne, od których odchylenia są obserwowane w obie strony. Duży wpływ na przebieg i stopień zatrucia wywierają: wiek, stan odżywiania, ilość krwi, działalność mięśni i płuc i inne cechy indywidualne danego osobnika.

Niekiedy obserwowane są również objawy podniecenia, podobne do tych, jakie występują przy spożyciu większych ilości alkoholu. Dalej następuje okres omdlenia i utraty przytomności. Oddech staje się powierzchowny, tętno, które początkowo było przyśpieszone i mocne, słabnie, źrenice przestają reagować na światło. Okres ten, wobec prawie całkowitego zaniku procesu oddychania, a zatem i zaprzestania pochłoniania dalszych ilości tlenku węgla, może trwać dość długo. Wreszcie następuje śmierć, przy jednoczesnem porażeniu działalności serca. Większość zatrutych podczas snu umiera spokojnie, jak przynajmniej sądzić można z wyglądu zmarłych.

Ratowanie i leczenie zatrutych czadem oparte jest na tem, że karboksyhemoglobina ulega rozkładowi w obecności nadmiaru tlenu. Zatrutych należy więc przedewszystkiem usuwać z atmosfery, zawierającej czad. Dalej wskazane jest (po zastosowaniu, w razie potrzeby, sztucznego oddychania) podawać choremu w ciągu co najmniej 20 minut czysty tlen z domieszką od 5 do 8% dwutlenku węgla CO_2. Ten ostatni pobudza działalność ośrodka oddechowego, znajdującego się w mózgu. Wtedy, wskutek wzmocnionego oddechu, zachodzi prędszy rozkład karboksyhemoglobiny, zwiększa się zdolność wiązania tlenu przez krew. Narazie nie znamy innych środków, któreby również skutecznie usuwały tlenek węgla ze krwi, jak to czyni tlen. Próby zastosowania ozonu lub zastrzyków wody utlenionej nie dały praktycznie dobrych wyników.

Zatrucia czadem często nie przechodzą bez śladu, a pozostawiają mniej lub bardziej ciężkie następstwa w organizmie. Zwłaszcza cierpią mózg i serce. Ostre objawy ustępują po kilku dniach, ale całkowite wyzdrowienie jest kwestją dłuższego czasu.

Otrzymywanie i występowanie tlenku węgla.

W pracowniach chemicznych, gdy chodzi o wytwarzanie stosunkowo nieznacznych ilości tlenku węgla otrzymuje się go z kwasu mrówkowego; HCOOH. W tym celu do stężonego kwasu siarkowego, ogrzanego do 200° C, dodaje się kroplami techniczny kwas mrówkowy:

$$HCOOH = H_2O + CO.$$

Inna metoda laboratoryjna oparta jest na działaniu stężonego kwasu siarkowego na sproszkowany żelazocyjanek potasowy ($K_4 Fe (CN)_6 + 6 H_2O$):

$$K_4Fe(CN)_6 + 6H_2O + 6H_2SO_4 = 6CO + 2K_2SO_4 + FeSO_4 + 3(NH_4) SO_4.$$

W technice w wyjątkowych tylko razach (np. przy wytwarzaniu fosgenu) tlenek węgla jest otrzymywany w prawie czystym stanie; zazwyczaj zaś jest on otrzymywany w mieszaninie z innemi gazami.

Tlenek węgla w technice powstaje przy spalaniu węgla, koksu i t. p. w niedostatecznej ilości tlenu, ale głównie przy działaniu dwutlenku węgla na rozżarzony węgiel (koks):

$$CO_2 + C = 2CO,$$

lub przy działaniu pary wodnej na rozżarzony węgiel:

$$C + H_2O = CO + H_2.$$

Tym ostatnim sposobem otrzymywany jest g a z w o d n y. Jest on nietylko cennem paliwem gazowem, ale ostatnio stał się ważnym produktem wyjściowym do wielu syntez.

Z gazu wodnego otrzymywany jest obecnie w dużych ilościach t a n i wodór, z którego wyrabiany jest, drogą łączenia go z azotem, s y n t e t y c z n y a m o n j a k.

Z gazu wodnego, w obecności odpowiednich katalizatorów i przy zastosowaniu wysokiego ciśnienia, otrzymywany jest syntetyczny alkohol metylowy, lub też alkohole wyższe. Tlenek węgla jest również jednym z lotnych produktów suchej dystylacji węgla i drzewa.

Poniżej podana jest tablica zawartości CO w główniejszych gazach technicznych:

Gaz	generatorowy	zawiera	od 28 do 33% CO
„	wodny	„	około 40% CO
„	mieszany (Dawsona)	„	od 14 do 20% CO
„	wielkopiecowy	„	od 28 do 31% CO
„	świetlny	„	od 4,6 do 8,4% CO (niekiedy 10%)
„	pieców koksowych	„	około 6% CO
„	olejowy (Blan'a)	„	do 4% CO

Pewne ilości czadu powstają wskutek niecałkowitego spalania paliwa na rusztach palenisk kotłowych. Np. dym parowozów kolejowych zawiera do 2% CO. W domach mieszkalnych źródłem czadu są źle funkcjonujące kominy; również przedwczesne zamykanie drzwiczek piecowych spowodować może przedostawanie się tlenku węgla do mieszkań.

Najczęstszym jednak powodem zaczadzeń jest coraz bardziej rozpowszechnione stosowanie gazu świetlnego w gospodarstwie domowem. Specjalna uwaga winna być zwrócona na szczelność ruro-

ciągów gazowych w mieszkaniach i na dokładne zakręcanie kurków gazowych. Dzięki swoistemu zapachowi pewnych składników gazu świetlnego, daje on znać o sobie i ostrzega o grożącem niebezpieczeństwie. To też w Anglji np. stwierdzono w ciągu roku tylko 50 przypadkowych zatruć gazem świetlnym na 9.000.000 jego odbiorców.

Potępić należy wszelkie usiłowania, zmierzające do usuwania składników, nadających gazowi zapach; istnieją natomiast propozycje dodawania do gazu świetlnego drobnych ilości związków o bardzo silnym zapachu, np. merkaptenów.

Uwagę zwraca znaczna ilość samobójstw popełnionych zapomocą gazu: urzędowe komisje angielskie stwierdziły, że liczba ich jest 7 razy większa, niż liczba zatruć przypadkowych.

Możliwe są zatrucia czadem w razie nieodpowiedniego obchodzenia się z gazem. Jeśli np. na palniku gazowym kuchenki umieścimy kociołek z wodą, którego średnica znacznie przewyższa średnicę płomienia palnika, to utrudniony jest wtedy odpływ gazów spalinowych. Może to wywołać niedostateczny dopływ powietrza do palnika, w wyniku czego powstać mogą spore ilości tlenku węgla. Doświadczenie wykazało, że w takim razie po upływie 30 minut w kuchni o 40 m^3 pojemności powietrze zawierało 0,05% CO. Spalanie gazu w małych pomieszczeniach, niedostatecznie przewietrzanych, często bywa powodem dolegliwości sercowych u gospodyń.

Dużo pracy poświęca się obecnie sprawie usuwania tlenku węgla z gazu świetlnego drogą przekształcenia go na metan CH_4, mający większą wartość opałową. Opracowane dotychczas metody, polegające na działaniu wodoru w obecności katalizatorów:

$$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$$

są jeszcze zbyt drogie, by móc znaleźć praktyczne zastosowanie.

W ostatnich czasach źródłem znacznych ilości tlenku węgla stały się spaliny silników samochodowych. Zawierają one przeciętnie około 7% tlenku węgla.

Głównym składnikiem benzyny jest heksan, C_6H_{14}, o p. wrz. 69° C. Łatwo można obliczyć, że do całkowitego spalenia 1 gr benzyny potrzeba około 15 gr powietrza. W rzeczywistości w rzadkich tylko wypadkach ma się do rozporządzenia taką ilość powietrza; zazwyczaj stosunek powietrza do benzyny wynosi 10:1. W warunkach takich musi powstawać czad. W zależności od stopnia obciążenia silnika, gatunku paliwa, dopływu powietrza, temperatury wybuchu

i t. p. powstają mniejsze lub większej ilości CO w spalinach, przeciętnie, jak wspomniano, około 7%, a maksymalnie do 14%. Wobec tego silnik, będący w ruchu w małym garażu, zatruwa powietrze w ciągu krótkiego czasu. Specjalnie przeprowadzone doświadczenie w garażu o 42 m^3 pojemności, wykazało po 25 minutach pracy silnika obecność 0,4% CO (!) w powietrzu.

Katz i Frevert badali zawartość CO w powietrzu dużych garażów i znaleźli przeciętną zawartość jego od 0,01 do 0,016%. Niekiedy jednak dochodziła ona do 0,08%.

Wypadki groźnego, a nawet śmiertelnego zatrucia w garażach samochodowych specjalnie często zachodzą w porze zimowej, gdy wrota garażu są zamykane. Szwajcarskie T-wa ubezpieczeniowe uważają, że pozostawianie silników w ruchu w zamkniętych garażach jest karygodnem niedbalstwem i często odmawiają wypłacania premij ubezpieczeniowych w wypadkach tem spowodowanych. W niesprzyjających okolicznościach zatruciu mogą ulec również pasażerowie w zamkniętym samochodzie. Wypadek tego rodzaju miał w bieżącym roku miejsce w Anglji. Na skutek katastrofy samochodowej, w której szofer był ranny, zaś dwóch pasażerów poniosło śmierć, szofera pociągnięto do odpowiedzialności pod zarzutem prowadzenia wozu w stanie nietrzeźwym. Ekspertyza lekarska stwierdziła natomiast, że śmierć nastąpiła skutkiem zatrucia tlenkiem węgla, zawartym w spalinie silnika. Samochód podczas wypadku wjechał do głębokiej kałuży, tak że woda zalała rurę wydmuchową. W wyniku spalina zaczęła przedostawać się do wnętrza wozu i spowodowała tem zatrucie pasażerów.

W powietrzu ulic, o dużym ruchu samochodowym, zawsze można wykryć obecność tlenku węgla.

Florentin znalazł w powietrzu ulic paryskich 0,034 do 0,062% CO_2 i 0,001 do 0,0044% CO. Zawartość tych gazów zależna jest od stanu pogody (t. j. od wiatrów i działania promieni słonecznych). Hirsch stwierdził w powietrzu ulic o wzmożonym ruchu zawartość od 0,003 do 0,004% CO. Według oficjalnych danych amerykańskich instytutów badawczych w powietrzu ulic Nowego Yorku znajdywano przeciętnie 0,1 objętości CO na 10.000 objętości powietrza, a maksymalnie 4,6 objętości CO na 10.000 objętości powietrza. W warunkach tych robotnicy uliczni i przechodnie nie są jeszcze narażeni na niebezpieczeństwo, natomiast policjanci, regulujący ruch uliczny, są już narażeni na poważne zatrucia. Po ośmiu godzinach

służby stwierdzono u posterunkowego nasycenie 30% hemoglobiny krwi tlenkiem węgla.

W roku bieżącym po ulicach Nowego Yorku krąży około miljona samochodów. W tych warunkach zawartość CO w powietrzu może się stać groźną już nietylko dla policji, sprzedawców biletów na stacjach autobusowych i szoferów, ale nawet i dla zwykłych przechodniów.

Taki wypadek masowego (lekkiego) zatrucia publiczności zaobserwowano w roku bieżącym w Anglji podczas wyścigów, kiedy w jednem miejscu skupiła się nadmierna ilość samochodów. Najgorsze warunki bezpieczeństwa istnieją w tunelach. Muszą one być starannie przewietrzane. W powietrzu tunelu Liberty, przez który w ciągu godziny przejeżdża 1000 samochodów, a powietrze przeciągane jest z szybkością 3 m/sek, Fieldner znalazł. 0,04 do 0,06% CO, a wyjątkowo nawet 0,16% CO. Są to już stężenia niebezpieczne dla ludzi, nawet przy stosunkowo krótkiem przebywaniu w takiej atmosferze.

Znaczne wreszcie ilości tlenku węgla powstają podczas eksplozyj materjałów wybuchowych, zawierających niedostateczną ilość tlenu. Gazy wybuchowe prochów bezdymnych, kwasu pikrynowego, trotylu, chloratytów i innych materjałów kruszących zawierają (zależnie od gęstości ładowania, szybkości spalania i t. d.) od 40 do 60% CO. Część tlenku węgla, powstającego przy wybuchu spala się na powietrzu na CO_2.

Wobec powyższego na niebezpieczeństwo zatrucia tlenkiem węgla narażone są: załogi samochodów pancernych i czołgów, dalej schronów betonowych, ziemianek i rowów łącznikowych w razie wybuchu pocisków lub min w pobliżu ich, lub w samych schronach [2]). Dla obsługi karabinów maszynowych niebezpieczne są schrony niewentylowane.

W znacznych ilościach występuje tlenek węgla podczas strzelania w wieżach działowych pancerników.

Duże ilości czadu wytwarzane są przez granaty, wybuchające w zamkniętych pomieszczeniach okrętowych, co w czasie bojów morskich było powodem częstych wypadków zatruć marynarzy tlenkiem węgla. Przy robotach strzelniczych w kopalniach węgla powstają ga-

---

[2]) Dr. R. Mercier (Revue d'artillerie — czerwiec 1929) podaje wypadek zatrucia 2 bataljonów niemieckich z powodu wybuchu granatu 400 mm w kominie wentylacyjnym (p. Przegl. Artyl. Nr. 2 tomu IX — Sierpień 1929, str. 158). Przyp. Redakcji.

zy wybuchowe, zawierające CO; mogą one przez czas dłuższy pozostawać pod ziemią, skutkiem czego narażeni są pracujący tam górnicy.

Tlenek węgla powstaje również przy wybuchach gazów kopalnianych i pyłu węglowego.

Metody wykrywania tlenku węgla.

Wykrywanie tlenku węgla i oznaczanie ilości jego w powietrzu jest sprawą bardzo ważną, gdyż, jak widzieliśmy wyżej, już nieznaczne ilości tlenku węgla mogą być powodem groźnych, nawet śmiertelnych zatruć. Ze sprawą wykrywania i oznaczenia tlenku węgla spotykamy się również przy badaniu pochłaniaczy przeciwczadowych.

Omawiane zagadnienie nie należy do prostych.

Jedynym dotychczas znanym specyficznym odczynnikiem na tlenek węgla jest czerwony barwnik krwi. Karboksyhemoglobina daje charakterystyczne widmo pasmowe, składające się z 2-ch pasm między linjami D i E. Podobne pasma posiada widmo absorbcyjne oksyhemoglobiny, która jednak, jak już wiemy, jest mniej stała od karboksyhemoglobiny.

Na powyższem oparte są wszystkie metody wykrywania i oznaczania tlenku węgla zapomocą krwi. Jedne z tych metod oparte są na analizie widmowej oraz większej stałości chemicznej karboksyhemoglobiny, inne zaś są oparte na rozkładzie tej ostatniej i na objętościowem oznaczeniu wydzielonego tlenku węgla.

Metody powyższe, opracowane przez lekarzy, znalazły ograniczone zastosowanie w pracowniach techniczno - chemicznych, gdyż wymagają dość złożonej aparatury i możliwie świeżej krwi, z którą technik naogół pracuje niechętnie.

Według metody Vogla, ulepszonej przez Nicloux, rozcieńczony roztwór krwi skłóca się z badanem powietrzem, następnie odtlenia się roztwór zapomocą siarczku amonowego, poczem bada się jego widmo absorbcyjne. Wykrywa się bardzo dobrze zawartość 0,5% CO, dobrze 0,25% CO, gorzej — 0,18% CO. Nie jest to zatem metoda czuła. Weltzl zastąpił siarczek amonowy roztworem żelazocyjanku potasowego w kwasie octowym ,przez co zwiększył znacznie czułość metody.

W metodzie Slyke'a i Salvesen'a (Journ. biol. chem. Nov. 1919, Nr. 40) tlenek węgla oznaczany jest objętościowo. W tym celu na krew, zawierającą karboksyhemoglobinę działa się żelazocyjankiem

potasowym ($K_3.Fe(CN)_6$). Następuje rozkład oksyhemoglobiny i karboksyhemoglobiny, skutkiem czego z krwi wydzielone zostają tlen i tlenek węgla. Mieszaninę gazów wykłóca się z zasadowym roztworem pirogalolu, który pochłania tlen. Pozostający tlenek węgla oznacza się objętościowo.

W technice stosowane są przeważnie metody prostsze, chociaż nie specyficzne, oparte głównie na własności odtleniającej CO. Tlenek węgla, wprowadzony do roztworów soli łatwo odtleniających się metali, wydziela z nich metale. Najczęstsze zastosowanie mają sole paladu i srebra .Metody te pozwalają wykrywać nieznaczne ilości tlenku węgla, a nawet oznaczać je na drodze kalorymetrycznej. Główną wadą tej metody jest okoliczność, że i słabiej odtleniające gazy działają na sole wspomnianych metali, wobec czego metoda nie daje pewnych wyników. Same roztwory są poza tem czułe na działanie światła, którego wpływ musi być usuwany.

Najczęściej stosowany jest chlorek paladawy, $PdCl_2$, lub chlorek paladawo-amonowy, $PdCl_2.2NH_4Cl$.

$$PdCl_2 + CO + H_2O = Pd + CO_2 + 2HCl.$$

Roztwór chlorku paladawego w obecności tlenku węgla zabarwia się na kolor czarny.

Stosowane są również papierki wskaźnikowe, nasycone chlorkiem paladawym. Według Meyer'a papierek taki zabarwia się w razie zawartości w powietrzu 0,76% CO natychmiast na kolor intensywnie czarny; w razie 0,076% CO czernieje po upływie 1-ej minuty, a w razie 0,0076% — po upływie 20 minut.

Wykrywacze czadu, oparte na powyższej reakcji, znajdują się w handlu (Romualda Nowickiego (Chem. Ztg. 1911, str. 1120) Nugershoffa, ampułki Mercka z roztworem azotanu srebra).

Niewrażliwy na działanie światła jest odczynnik, zawierający pięciotlenek jodu, I_2O_5. Jak i poprzednie, nie jest on odczynnikiem wyłącznie na czad. W celu więc uzyskania pewnych wyników, wskazane jest uprzednie przepuszczenie badanego powietrza przez stężony kwas siarkowy i ług potasowy i wreszcie przez warstwę węgla aktywowanego, grubości około 6 cm w celu usunięcia innych gazów redukujących. Pięciotlenek jodu utlenia czad według równania:

$5\,CO + I_2O_5 = 5\,CO_2 + 2\,I$ (najlepiej w temperaturze około 130° C).

Reakcja zachodzi łatwiej, bo już w temperaturze pokojowej, w obecności dymiącego kwasu siarkowego. O ile odczynnik zostaje

umieszczony na białym pumeksie, to w zależności od zawartości CO w badanym gazie, obserwuje się występowanie zabarwienia pumeksu, poczynając od koloru zielonego aż do ciemnobrunatnego. Na tej zasadzie oparty jest amerykański „wykrywacz" czadu, t. zw. „hoolamite (J. Scott-Dodd., J. Frankl. Inst. 205—428—30, — 1928). Dopuszczalny jest błąd w ocenie zawartości CO, dochodzący do 25%. Jest to w wielu razach (np. w kopalniach) dokładność zupełnie dostateczna.

Do wykrywania tlenku węgla może być wyzyskane ciepło spalania się jego (68 cal).

Jest przytem rzeczą obojętną, czy spalanie jest bezpośrednie, czy też katalityczne. Wydzielające się ciepło powoduje znaczny wzrost temperatury w odpowiednio skonstruowanym przyrządzie. Na zasadzie katalitycznego spalania tlenku węgla oparty jest detektor Siemens'a, pozwalający oznaczać zawartość CO w granicach od 0,2 do 2% CO.

Jak to stwierdzili E. Hofman i P. Schläpfer (Ber. 25 der Eidgenössischen Materialprüfungsansfalt, Zürich) metoda, oparta na utlenieniu CO zapomocą pięciotlenku jodu, jest dokładna tylko w razie zawartości CO nie powyżej 0,4 do 0,6%.

Wobec tego Chemisch-Technische Reichsanstalt w Berlinie opracowała nową metodę ilościowego oznaczania CO (Jahresbericht VII, str. 195).

Opracowana metoda daje dobre wyniki i w razie większej zawartości tlenku węgla w gazach, stosowana być może również w obecności wodoru w gazach. Polega na spalaniu CO na CO_2, w obecności tlenku miedzi, CuO. Trudnością do zwalczenia było to, że tlenek miedzi chłonie powstający przy spaleniu dwutlenek węgla, co prowadziło do błędnych oznaczeń. Dopiero drogą osadzania tlenku miedzi na ziarenkach kwasu o średnicy 1 do 2 mm udało się uzyskać katalizator, czynny już w ilości 0,01 g, dzięki czemu pochłanianie dwutlenku węgla zostało ograniczone do minimum. Otrzymywany dwutlenek węgla chwytany jest przez wodzian barowy. W razie zastosowania N/100 $Ba(OH)_2$, można CO oznaczyć w litrze gazu z dokładnością do 0,002%.

Tą drogą została dość udatnie rozwiązana sprawa laboratoryjnego ilościowego oznaczania tlenku węgla w gazach.

Otwarte dotychczas pozostaje zagadnienie niezawodnego i prostego wykrywacza tlenku węgla, któryby i w rękach niedoświadczo-

nych laików pozwalał wykrywać obecność tego gazu w ilościach poczynając od 3 obj. na 10.000 objętości gazu.

Ochrona przed czadem.

Wyżej zostało wspomniane, że uniwersalny pochłaniacz maski przeciwgazowej, oparty na absorbcyjnem działaniu węgla aktywowanego, nie chłonie tlenku węgla. Wobec występowania tlenku węgla na polach bitew, już w czasie wojny w kołach wojskowych zainteresowano się opracowaniem pachłaniacza przeciwczadowego.

Autor znanej książki o wojnie chemicznej, Dr. Hanslian, podaje, że już w roku 1916, podczas jednej z konferencyj gazowo- technicznych na froncie, dokładnie rozważano sprawę obrony przeciwko CO i wtedy wypowiedziane zostało zdanie, że najlepszem rozwiązaniem kwestji byłoby katalityczne utlenianie CO na CO_2. W Niemczech praktycznego urzeczywistnienia tej myśli nie znaleziono w czasie wojny.

Dla marynarki został wprawdzie opracowany pochłaniacz przeciwczadowy, zawierający jako substancję czynną nadmanganian srebrowy, $AgMnO_4$; chodziło jednak w danym razie nie o działanie katalityczne, a o bezpośrednie spalanie CO przez tlen, zawarty w nadmanganianie. Przekonano się wprawdzie wkrótce, że zachodziło jednocześnie spalanie katalityczne, spowodowane, jak dziś wiemy, przez powstający dwutlenek manganu; ilości bowiem spalonego przez nadmanganian srebrowy tlenku węgla były większe, niż odpowiada to ilości rozporządzalnego tlenu. W każdym bądź razie opracowany pochłaniacz nie okazał się praktyczny.

We Francji opracowany został specjalny aparat przeciwczadowy, którego działanie polegało na utlenianiu CO przez pięciotlenek jodu. W tym celu zawiesiną 10,6 cz. J_2O_5 w 56 cz. oleum nasycano kawałki pumeksu, który warstwami układano w pochłaniaczu. I ten pochłaniacz, jako niezbyt praktyczny, został zarzucony po wojnie.

Pierwszą naprawdę dobrą maskę przeciwczadową skonstruowali amerykanie. W pochłaniaczu tej maski umieszczono specjalną mieszaninę tlenków metalowych, znaną pod nazwą „Hopcalite" (nazwa ta powstała z połączenia nazw dwóch uniwersytetów amerykańskich: John Hopkins University i California University, dzięki wspólnym pracom których został wynaleziony hopkalit).

Skład hopkalitu pierwotnie był następujący: 50% MnO_2, 30% CuO, 15% CoO i 5% Ag_2O; potem ulegał on zmianom, jednak dwu-

tlenek manganu i tlenek miedziowy pozostały podstawowemi składnikami hopkalitu. Działanie katalityczne jego jest tak energiczne, że utlenia on CO nawet w temperaturze 0° C. Koniecznym warunkiem działania katalizatora jest, by nie zawierał on wilgoci, wtedy czas jego działania jest nieograniczony. Przenikająca zzewnątrz wilgoć zmniejsza aktywność katalizatora i to tem wcześniej, im większa jest zawartość wilgoci w powietrzu. Wobec tego dla noszącego maskę jest rzeczą pierwszorzędnej wagi znać chwilę, w której katalizator przestaje być czynny.

Amerykanie wbudowywali w swe maski specjalny przyrząd t. zw. „timer", który regestrował ilość oddechów noszącego maskę i ostrzegał, gdy osiągnięta została pewna liczba maksymalna. Oczywiście przyrząd ten nie wykazywał rzeczywistego wyczerpania pochłaniacza.

Już po wojnie Tow. Auer'a w Berlinie podjęło pracę nad skonstruowaniem maski (pochłaniacza) przeciwczadowej do celów przemysłowych, dla straży ogniowych i t. p. Do 1926 roku w Europie w zastosowaniu były jedynie izolujące przyrządy tlenowe, które przy niezaprzeczonych zaletach posiadają szereg niedogodności, jak np. zużywanie się w wolnej od czadu atmosferze, nie mówiąc już o wysokiej ich cenie. Tow. Auer postawiło sobie jako cel stworzenie przyrządu prostego, taniego i lekkiego.

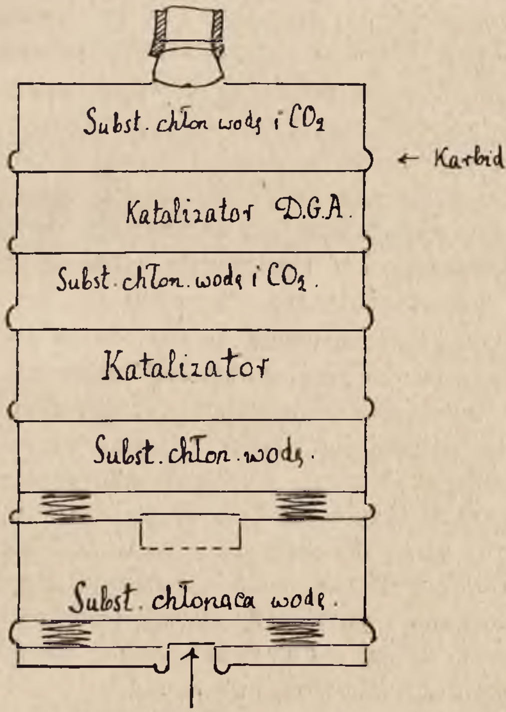
Katalizator zastosowany przez Tow. Auer'a ma podobny skład do amerykańskiego. By spalanie CO zachodziło ilościowo i w najniższej praktycznie przewidywanej temperaturze, opracowana została specjalna metoda do wytwarzania ziaren katalizatora o średnicy 1—2 mm. Katalizator jest czynny tylko wtedy, gdy zawarta w nim wilgoć nie przekracza określonej wartości. W celu uchronienia substancji katalitycznej przed działaniem wilgoci, umieszczono ją w pochłaniaczu między dwiema warstwami ciała chłonącego wodę. Jest rzeczą zrozumiałą, że wobec czułości katalizatora na wilgoć, zastosować musiano maski, zaopatrzone w zawory wydechowe.

Podobnie, jak w amerykańskiej masce, wyczerpanie pochłaniacza spowodowane jest wyłącznie nasyceniem substancji chłonącej wilgoć. Po przedostaniu się pewnej ilości wilgoci do masy katalitycznej przestaje ona być czynna i wtedy zjawia się niebezpieczeństwo zatrucia tlenkiem węgla, który, jak wiadomo, nie daje niczem znać o sobie. Tow. Auer'a obrało inną drogę, niż amerykanie, wprowadzając do pochłaniacza substancję, która ostrzega właściciela maski o ustaniu działalności masy katalitycznej.

Sprawę rozstrzygnięto w sposób następujący. Katalizator, jak już wiemy przestaje pracować skutecznie, gdy prężność pary wodnej w pochłaniaczu wzrośnie zbyt wysoko. Z drugiej strony istnieją ciała, które w nieobecności pary wodnej nie ulegają rozkładowi, natomiast w obecności jej wydzielają ciała lotne o charakterystycznym zapachu.

Takiem ciałem jest np. węglik wapnia, czyli karbid, który pod wpływem pary wodnej wydziela acetylen:

$$CaC_2 + H_2O = CaO + C_2H_2.$$



Schemat pochłaniacza „Degea" — CO.

Drogą odpowiedniego przygotowania możliwe jest nadać karbidowi taką formę, że wydzielanie ilości gazu, wyraźnie odczuwanych staje się możliwe właśnie przy tej zawartości wilgoci, która wpływa ujemnie na katalizator. Mamy tu zupełnie udatne rozwiązanie zagadnienia. Dzięki dokładnemu zbadaniu warunków, udało się dostosować wzajemnie katalizator i karbid tak, że poniżej pewnej wartości prężności pary wodnej nie wydziela się acetylen, zaś katalizator jest wtedy jeszcze czynny. Gdy jednak przekroczona zostanie granica zawar-

tości wilgoci, spada aktywność katalizatora i zaczyna się wydzielanie acetylenu. Zamiast karbidu mogą znaleźć zastosowanie i inne substancje. Udało się np. zastosować ciało, wydzielające pod wpływem wilgoci amonjak. Schemat pochłaniacza, który otrzymał nazwę „Degea“ CO podany jest na załączonym rysunku.

Zauważyć należy, że pochłaniacz ten poza CO wiąże również znaczne ilości innych gazów trujących. Jest zatem w pewnej mierze pochłaniaczem uniwersalnym.

W zwykłych warunkach pracy chłonie on:

8,1 gr fosgenu, 13,6 gr amonjaku, 11,6 gr cyjanowodoru, 5,4 gr chloru, 41,2 gr bezw. kw. siarkawego, 21,8 gr chloropikryny.

Wobec wrażliwości pochłaniacza na wilgoć wskazane jest go zamykać szczelnie pokrywkami, gdy nie jest w użyciu.

Naogół czas jego służby wynosi od 20 do 40 godzin.

Anglicy w analogicznym pochłaniaczu zastosowali, jako substancję ostrzegawczą, wspomnianą już kilkakrotnie mieszaninę pięciutlenku jodu i dymiącego kw. siarkowego, z której tlenek węgla wydziela j o d o charakterystycznym zapachu.

Z rysunku pochłaniacza widać, że posiada on dwie warstwy katalizatora, umieszczone między warstwami substancji, chłonącej wilgoć. Powodem tego jest konieczność zabezpieczenia katalizatora przed działaniem wilgoci, jaka może powstać wewnątrz pochłaniacza drogą spalania w o d o r u, występującego często razem z tlenkiem węgla w gazach. Gdyby nie było drugiej warstwy chłonącej wilgoć, to katalizator straciłby aktywność na skutek wody, wytworzonej przezeń z wodoru. Wodór zostaje spalony w pierwszej warstwie katalizatora, powstające pary wody zostają pochłonięte w sąsiedniej warstwie, wiążącej wilgoć i dwutlenek węgla; dzięki temu druga warstwa katalizatora zachowuje aktywność.

Maski gazowe z pochłaniaczami przeciwczadowemi mogą być stosowane w wypadkach, gdy zawartość tlenu w powietrzu wynosi nie mniej 17%, a zawartość tlenku węgla nie przewyższa 6%.

Za łaskawe przejrzenie części niniejszego artykułu, traktującej o fizjologicznem działaniu tlenku węgla, pozwalam sobie podziękować na tem miejscu Panu Kpt. Doktorowi Krzewińskiemu.

Literatura:

Ullmann, Enzyklopädie der technischen Chemie.
Vedder. The medical aspect of Chemical Warfare.
Zeitschr. für das ges. Schiess-und Sprengstoffwesen.
Artykuły: Lewina i Poppenberga, 1910, str. 4 i 25.
R. K. Sayers'a. 1924, str. 179.
Grünewalda, 1927, str. 120.
Meuss'a, 1928, Nr. 6.
Wollina, 1929, str. 30.
Die Gasmaske 1929, zeszyt I.
Prof. Dr. Wirth. Kohlenoxyd, seine Gefahr und seine Ueberwindung.
Dr. Ed. Smolczyk. Ueber den Nachweis von Kohlenoxyd.
Jahresbericht VII der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.
Beihefte zur Medizin-Klinik 1929, Heft 9. XXV Jahrg.
Dr. Med. Fr. Schwartz. Ueber gasförmige und flüchtige Gifte.

662.31

Inż. BAŁACZYŃSKI JERZY.

O FLEGMATYZACJI PROCHÓW BEZDYMNYCH

Z pośród znanych gatunków prochu w warunkach zwykłych, t. j. pod ciśnieniem normalnem, najwolniej spala się proch nitrocelulozowy, mianowicie 3 do 5-ciu razy wolniej niż proch nitroglicerynowy i prawie 10 razy wolniej, niż proch czarny. Pod zwiększonem ciśnieniem, wszystkie prochy spalają się szybciej, przyczem najbardziej wzrasta szybkość palenia się prochu nitrocelulozowego; pod ciśnieniem 2000 atmosf. spala się on już 1,2 razy szybciej, niż proch czarny, a już tylko 2 do 3-ch razy wolniej, niż proch nitroglicerynowy (w tychże warunkach).

Możność regulowania szybkości palenia się prochów nitrocelulozowych jest zagadnieniem bardzo ważnem, specjalnie dla prochów o dużej powierzchni, jakiemi są prochy karabinowe.

Takie regulowanie szybkości palenia się prochu karabinowego osiągane jest drogą t. zw. flegmatyzacji jego, czynności, należącej bezsprzecznie do najtrudniejszych z liczby stosowanych przy fabrykacji prochu, a o której literatura fachowa podaje skąpe jedynie wiadomości.

Nieomal każda wytwórnia prochu bezdymnego opracowała dla siebie metodę flegmatyzacji, która w wytwórni tej daje proch o dobrych własnościach balistycznych; często jednak okazuje się, że ta sama metoda, zastosowana bezkrytycznie w innej wytwórni, daje zły proch.

Nawet w tej samej wytwórni, w razie zmiany gatunku bawełny strzelniczej, spowodowanej bądź to zmianą surowca, bądź też nieznacznemi zmianami w metodzie nitracji, wypróbowany już sposób

flegmatyzacji zawodzi, prowadząc do wyników niezadawalających.

W niniejszym artykule podaję szereg rozważań z dziedziny teorji flegmatyzacji, opartych z jednej strony na niektórych prawach chemji fizycznej, z drugiej zaś na własnych doświadczeniach w kilku wytwórniach prochu.

Cel flegmatyzacji.

Przy paleniu się w lufie karabinowej prochu bezdymnego nieflegmatyzowanego, szybkość palenia się jego wzrasta. Spowodowane to jest okolicznością, że proces spalania prochu jest już znacznie posunięty, zanim pocisk w lufie zdążył nabrać rozpędu. Powstające więc gazy nie mają możności rozszerzenia się i prężność ich szybko wzrasta. Pociąga to za sobą w myśl poprzednich uwag, dalszy wzrost szybkości palenia się prochu, wobec czego może zajść wypadek, że całkowite spalenie się prochu nastąpi zbyt wcześnie. Wtedy w miarę dalszego posuwania się pocisku rozpocznie się stosunkowo zbyt szybki spadek ciśnienia w lufie, a co zatem idzie uzyska się szybkość wylotową pocisku mniejszą, niż w wypadku wolniej spalającego się prochu.

W ostatecznym wyniku przy strzelaniu proch taki wykaże duże ciśnienie, przy stosunkowo małej szybkości pocisku. Wad tych nie będzie posiadał proch, który w pierwszym okresie palić się będzie wolniej, a dopiero w końcowym — prędzej.

Proch tego rodzaju, któremu nadano nazwę prochu p o s t ę p o w e g o, otrzymuje się drogą wprowadzenia do zewnętrznych warstw ziaren jego takich substancyj, które w znacznym stopniu zmniejszają szybkość spalania się tych warstw.

Wysuszony proch nitrocelulozowy, z którego rozpuszczalnik został prawie całkowicie usunięty, tworzy masę zawierającą bardzo drobne, napełnione powietrzem pory, co umożliwia w odpowiednich warunkach wchłanianie przez tego rodzaju proch, substancyj o pożądanych własnościach. Grubość i jakość uzyskanej przytem warstewki wolniej palącego się prochu powinna być taka, ażeby szybkość wytwarzania się gazów prochowych pozostawała w pewnym określonym związku z każdorazową objętością części lufy między pociskiem a zamkiem. Pożądane jest przytem, ażeby warstwa ta spaliła się całkowicie tuż przed osiągnięciem najwyższego ciśnienia w lufie, wtedy bowiem spadek ciśnienia będzie możliwie powolny, a to z po-

wodu zachodzącego wtedy szybkiego spalania się pozostałego jądra „żywego" prochu.

Dość trudna w wykonaniu czynność flegmatyzacji prochu polega właśnie na doborze warstwy sflegmatyzowanej ,odpowiedniej grubości i jakości.

Jak wiadomo, proch można flegmatyzować każdym materjałem, który z masą prochową jest w stanie utworzyć stały g e l. Takich substancyj istnieje sporo, jednak praktyczne zastosowanie znalazły tylko nieliczne, a mianowicie: kamfora, centrality, uretan, dwunitrotoluen i trotyl.

Wobec tego, że wszystkie moje doświadczenia były robione z kamforą, w niniejszym artykule mowa będzie tylko o flegmatyzacji zapomocą kamfory.

W razie flegmatyzacji zapomocą innych substancyj zostałyby oczywiście otrzymane inne wyniki liczbowe, jednak ogólne zasady flegmatyzacji pozostałyby te same.

Teorja flegmatyzacji.

Dla danego prochu, jak wspomniałem powyżej, otrzymuje się najlepsze wyniki balistyczne, gdy warstwa sflegmatyzowana jest określonej jakości i grubości. Istnieją różne sposoby badania grubości tej warstwy; o jednym z takich sposobów, a mianowicie drogą zabarwiania warstwy sflegmatyzowanej podam w innem miejscu. Znane zakłady Köln-Rottweil w Niemczech, uważają, że grubość tej warstwy powinna wynosić 1/4 grubości ziarna; jedna z wytwórni rosyjskich była zdania, że powinna ona wynosić tylko 1/6 grubości ziarna. Zagadnieniem tem zajmować się obecnie nie będziemy, a tylko przyjmiemy, że udało nam się znaleźć taką grubość warstwy sflegmatyzowanej, która daje najlepsze wyniki balistyczne t. j. szybkość V(opt); ciśnienie P(opt) dla ładunku W. Rozpatrzmy, jak zmienią się własności balistyczne prochu w razie odchylenia się od tej najodpowiedniej dobranej grubości warstwy sflegmatyzowanej, którą w dalszym ciągu nazywać będziemy „normalną".

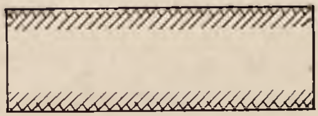
Najkorzystniejsza grubość jest szematycznie uwidoczniona na rys. 1.

Jeżeli grubość warstwy zawierającej kamforę będzie mniejsza od normalnej (rys. 2), to spali się ona przed osiągnięciem najwyższego ciśnienia, a wtedy, rozpocznie się przedwczesne palenie się masy żywego prochu, co spowoduje znaczny wzrost ciśnienia. Szybkość wy-

lotowa pocisku przytem nie zmieni się wcale, albo zwiększy się tylko nieznacznie, ponieważ ogólna ilość gazów prochowych pozostanie prawie bez zmiany.

Jeżeli grubość warstwy sflegmatyzowanej będzie większa od normalnej (rys. 3), to nie zdąży się ona spalić przed okresem spadku ciśnienia gazów i wtedy proch spali się za późno, a nawet część jego może być wyrzucona z lufy. Taki proch będzie dawał znacznie mniejszą szybkość, ciśnienie zaś spadnie stosunkowo nieznacznie.

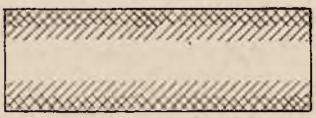
Wreszcie, jeżeli proch jest sflegmatyzowany w całej grubości ziarna, to może się zdarzyć, że w środkowej warstwie ziarna połączą się dwie warstwy sflegmatyzowane i taki proch będzie miał w środkowej warstwie więcej kamfory, niż w warstwach sąsiednich (rys. 4).



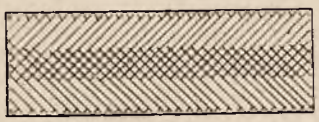
Rys 1.



Rys. 2.



Rys. 3



Rys. 4.

Będzie on wytwarzał znacznie większe ciśnienie w lufie, zaś pociskowi nadawać będzie mniejszą szybkość.

Należy z całym naciskiem podkreślić, że na balistyczną jakość prochu wpływa nietylko ogólna ilość dodanej kamfory, ale też i rozmieszczenie jej w ziarnie, przyczem ten ostatni czynnik wywiera większy wpływ na balistyczne własności prochu, niż ogólna ilość wchłoniętej kamfory.

Ogólna ilość wchłoniętej przez proch kamfory powinna się prawie równać ilości kamfory zużytej, ponieważ większe straty kamfory mogą powstać tylko przy niedbałem wykonywaniu procesu flegmatyzacji, naprzykład, gdy się flegmatyzuje niedość suchy proch (dobrą flegmatyzację można osiągnąć tylko stosując proch o zawartości nie ponad 0,25% wilgoci) albo też flegmatyzuje się proch w zbyt niskiej temperaturze.

Opanowanie zjawiska przenikania kamfory do prochu wymaga bardzo dokładnie przeprowadzanych zabiegów, wymaga zatem od kierownictwa dokładnego zrozumienia zjawisk, jakie zachodzą przy różnych operacjach z prochem, łącznie ze zrozumieniem wpływu jakości bawełny strzelniczej na proces flegmatyzacji.

Do tych zagadnień przystępujemy obecnie.

Przenikanie kamfory w głąb ziarenka prochu zależy od szeregu czynników, a mianowicie:

1) Od jakości bawełny strzelniczej, użytej do fabrykacji prochu, głównie zaś, jak zobaczymy później, od lepkości roztworu stosowanej bawełny strzelniczej [1].

2) Od sposobu kamforyzacji: Pomijając temperaturę, utrzymanie której na pewnym poziomie jest warunkiem koniecznym i dawno znanym, duży wpływ na głębokość wnikania kamfory wywiera stężenie roztworu kamfory w alkoholu.

3) Od sposobu moczenia: Nie należy zapominać, że przy moczeniu sflegmatyzowanych prochów w gorącej wodzie zachodzi dalsze wnikanie kamfory w głąb ziarna. Głębokość tego wnikania zależy od temperatury wody, od czasu moczenia, od ilości alkoholu, jaka pozostała w prochu przed jego moczeniem, ale głównie od jakości bawełny strzelniczej, a w pierwszym rzędzie od lepkości jej. Sposób moczenia, dający dobre wyniki z jednym rodzajem bawełny strzelniczej, może okazać się wielce szkodliwy dla innego. Już z powyższego widać, jak skomplikowane tu zachodzą zjawiska.

I. Wpływ lepkości bawełny strzelniczej na proces flegmatyzacji.

Dziwne się wydać musi, że taki czynnik, jak lepkość bawełny strzelniczej był doniedawna często bagatelizowany. Francuzi lekceważyli go w dużej mierze, w Niemczech jak gdyby nie przypisywano mu większego znaczenia, w Rosji tylko jedna wytwórnia zainteresowała się w czasie wojny tem zagadnieniem, a w Anglji dopiero po wojnie przystąpiono do systematycznych badań w tym kierunku. Jest to tem bardziej zastanawiające, ponieważ wszystkie operacje przy fabrykacji prochu bezdymnego stanowią przeróbkę ciał koloidalnych, główną cechą i charakterystyką których jest właśnie lepkość.

Przy flegmatyzacji prochu zachodzi utworzenie się wspólnego stałego gelu, — bawełna strzelnicza i kamfora, — przyczem po-

---

[1]) W dalszym ciągu zamiast określenia „lepkość roztworu bawełny strzelniczej", stosować będziemy skrót „lepkość bawełny strzelniczej".

suwanie się kamfory w głąb ziarna podlega prawom dyfuzji w środowisku koloidalnem.

Wiemy, że jeżeli w naczyniu znajdują się roztwory 2-ch ciał, naprzykład dwóch soli, z których cięższy jest na dole, to zachodzi dyfuzja z pewną szybkością; jeżeli dodamy do dolnej warstwy jakiegokolwiek koloidu, naprzykład kleju ze skrobi, to szybkość dyfuzji znacznie się zmniejszy i tem więcej, im większy jest dodatek skrobi. Jeżeli zastąpimy skrobię przez żelatynę jednakowego stężenia, to uzyskamy roztwór o większej lepkości i szybkość dyfuzji będzie wtedy jeszcze mniejsza.

Zatem szybkość dyfuzji jest zależna od lepkości i zmniejsza się wraz ze zwiększeniem lepkości. W naszym wypadku szybkość wnikania kamfory w głąb ziarenka podlega temuż prawu i w znacznym stopniu wzrasta ze zmniejszeniem lepkości bawełny strzelniczej, z której został zrobiony dany proch.

To zjawisko znacznie ułatwia flegmatyzację prochów, zrobionych z bawełny strzelniczej o małej lepkości (do pewnego stopnia). Cały więc szereg zabiegów niezbędnych do otrzymania prochu o pewnych własnościach balistycznych z bawełny strzelniczej o dużej lepkości, okazuje się nietylko zbędny, ale i wprost szkodliwy w razie prochu otrzymanego z bawełny strzelniczej o małej lepkości.

II. Wpływ sposobu kamforyzacji.

Pomijając wpływ temperatury, który jest dobrze znany, duży wpływ na głębokość wnikania kamfory wywiera gęstość jej roztworu.

Wpływ tego czynnika doniedawna był prawie nieznany. Cały szereg przeprowadzonych doświadczeń wykazał, że głębokość wnikania kamfory wzrasta wraz z rozcieńczeniem jej roztworu. Na prochy z bawełny strzelniczej o dużej lepkości, która trudno wchłania kamforę, gęste roztwory kamfory, nawet w dość dużych ilościach, prawie nie działają, wobec czego nie zmieniają się prawie własności balistyczne prochu. Takiej samej gęstości roztwory kamfory, użyte do flegmatyzacji prochów z bawełny strzelniczej o małej lepkości dobrze wnikają w ziarenka prochu i mogą dać przy zachowaniu odpowiednich warunków (stężeń i ilości) bardzo dobry proch.

Odwrotnie, rozcieńczone roztwory kamfory, użyte do flegmatyzacji prochu z bawełny strzelniczej o dużej lepkości, podnoszą własności balistyczne takiego prochu (chociaż nie w tym stopniu), jak to czynią gęste roztwory dla prochów z bawełny strzelniczej o małej

lepkości, podczas gdy takie rozcieńczone roztwory użyte do flegmatyzacji prochów z bawełny strzelniczej o małej lepkości wnikają zbyt głęboko i ostatecznie psują proch.

Jeżeli proch po pierwszej kamforyzacji nie daje dobrych wyników balistycznych, co często zachodzi z prochem, zrobionym z bawełny strzelniczej o dużej lepkości, to poddaje się go drugiej, a często i trzeciej kamforyzacji połączonej z moczeniem w gorącej wodzie. Jednak taki, kilka razy kamforyzowany i moczony proch, nigdy nie będzie tak dobry, jak proch z bawełny strzelniczej o małej lepkości, wybitnie nadającej się do jednorazowej flegmatyzacji bez moczenia.

W celu poparcia powyższych wywodów podaję niżej kilka przykładów z praktyki.

Chodziło o uzyskanie prochu karabinowego o następujących własnościach: ciśnienie maksymalne w lufie około 3000 atm., szybkość pocisku dla długiego karabinu Vd = 860 m sek, dla krótkiego — Vk = 825 m/s.

a) Flegmatyzacja prochu otrzymanego z bawełny strzelniczej o znacznej lepkości.

Do wyrobu wzięte były następujące gatunki bawełny strzelniczej:
BS_1 o 13,4% azotu i o lepkości — 26 jednost. bezwzgl.
BS_2 o 12,24% azotu i o lepkości — 55 jednost. bezwzgl.
Pierwszą flegmatyzację prochu przeprowadzono zapomocą 20% roztworu kamfory w alkoholu. Uzyskano:

$$Vd = 805{,}7 \text{ m s. i } P = 3013 \text{ atm.}$$

Do następnej kamforyzacji brano słabszy roztwór (1 : 6).
Wynik: Vd = 825 m/s. i P = 2981 atm.
Następnie proch poddano moczeniu. Niektóre wytwórnie przyjmowały, że uzyskiwane przy moczeniu zwiększenia szybkości i ciśnienia, pozostają w stosunku 1:10. Może to być słuszne dla pewnych gatunków prochu (bawełny strzelniczej), nie jest jednak prawidłem ogólnem. Dla rozpatrywanego przykładu po 45 godz. moczenia w 80° C uzyskano:

$$Vd = 876 \text{ m/s i } P = 3313 \text{ atm,}$$

czyli zamiast stosunku 1:10, otrzymano 1:7, wynik zresztą dogodniejszy.

Proch, poddany trzeci raz flegmatyzacji i dodatkowemu moczeniu miał:

$$Vd = 874 \text{ m/s i } P = 3107, \text{ t. j.}$$

zbyt duże ciśnienie, a zbyt małą szybkość.

Po czwartej kamforyzacji i dodatkowem moczeniu uzyskano:

$$Vd = 860 \text{ m/s i } P = 3128.$$

Wynik można było uważać za zadawalający, jednak dla poszczególnych partyj (bębnów) otrzymano bardzo rozbieżne wyniki.

Dalsze usiłowania poprawienia własności balistycznych prochu, drogą dalszych flegmatyzacyj i moczeń doprowadziły w końcowym wyniku do prochu nawskroś sflegmatyzowanego, o szybkości zbyt małej (Vk = 750 m/s dla maksymalnego ładunku) i o wprawdzie niskiem ciśnieniu (P = 2200 atm), czego jednak nie można było wyzyskać wobec niemożności dalszego zwiększenia ciężaru ładunku.

b) Flegmatyzacja prochu z bawełny strzelniczej o małej lepkości.

Do wyrobu prochu użyte były następujące gatunki bawełny strzelniczej:

BS_1 o 13,42% azotu i o lepkości — 5,3 jedn. bezwzgl.

BS_2 o 12,60% azotu i o lepkości — 6,2 jedn. bezwzgl.

Flegmatyzację prowadzono, stosując roztwór kamfory (40%) i po jednorazowej flegmatyzacji (bez moczenia) uzyskiwano proch o własnościach:

$$Vk = 826{,}0 \text{ do } 836{,}5 \text{ m/s i } P = 2814 \text{ do } 2955 \text{ atm.}$$

Jednak kilkakrotna flegmatyzacja, przeprowadzona prawidłowo i ze zrozumieniem istoty zachodzących zjawisk, może dać zupełnie zadawalające wyniki. Do istoty tych zjawisk przechodzimy. Proch za płytko kamforyzowany posiada zbyt cienką warstwę kamfory (rys. 2). Jeżeli taki proch poddamy drugiej kamforyzacji, to nowa warstwa kamfory osiądzie na zewnętrznych warstwach ziarnka, ale alkohol wnikając w głąb ziarnka, pociągnie za sobą i poprzednio wprowadzoną kamforę, która dzięki powyższemu posunie się dalej do środka ziarnka. Taki proch będzie dawał znacznie mniejsze ciśnienie, ale i niedostateczną szybkość. Aby zwiększyć szybkość (podnosi się jednocześnie przytem i ciśnienie), proch moczono w gorącej wodzie (80° C). Pod wpływem takiej temperatury gel kamfora-proch, że tak powiem, rozmiękcza się i kamfora przenika do dalszych warstw pro-

chu nie zawierających jeszcze kamfory. Jednocześnie nieznaczna część kamfory zostaje wyługowana przez wodę. Budowę ziarnek takiego prochu po moczeniu widzimy na rys. 5.

Moczenie prochu wywiera dodatni wpływ (oczywiście dla prochu z bawełny strzelniczej o dużej lepkości) posuwając kamforę do środka ziarenka, ale również ujemny, pozbawiając kamfory zewnętrzne warstewki ziarnek, o czem nie należy zapominać. Przy następnej kamforyzacji bardzo trudno jest osiągnąć wynik taki, aby nowa warstwa kamfory wypełniła jedynie zewnętrzną warstwę, poprzednio wyługowaną; zazwyczaj kamfora, albo przenika nie dość głęboko, albo też zbyt daleko. Rozmieszczenie kamfory w takim prochu będzie miało charakter warstewkowy (rys. 6). Proch wielokrotnie i nieumiejętnie kamforyzowany i moczony posiada nietylko nieodpowiednie własności balistyczne, ale również duży rozrzut ciśnień i szybkości, co utrud-



Rys. 5.



Rys. 6.

nia, lub nawet uniemożliwia obliczenie wpływu zmiany ciężaru ładunku lub zawartości wilgoci przy ustalaniu ciężaru ładunku.

Przy kilkakrotnej kamforyzacji danego prochu przekonano się, że należy zawsze przeprowadzać następne kamforyzowanie z roztworami gęstszemi, niż poprzednie. Przy następnej kamforyzacji słabszym roztworem zachodzi szkodliwe wyługowanie kamfory i nierównomierne przenikanie jej w głąb ziarna.

Ustalenie się własności balistycznych prochu.

Jak wiadomo, gotowy proch, nawet w hermetycznem opakowaniu, przy leżeniu często zmienia własności balistyczne. Te zmiany można podzielić na dwa okresy. Pierwszy okres, trwający zaledwie kilka dni, zwykle nieco pogarsza stosunek ciśnienia do szybkości, ale jednocześnie zmniejsza rozrzut; drugi okres dłuższy, trwa kilka miesięcy, może spowodować pogorszenie, ale również i polepszenie własności balistycznych prochu. Zmiana w pierwszym okresie zależy od równomiernego rozmieszczenia wilgoci zarówno w całej masie pro-

chu, jak i w przekrojach poszczególnych ziarenek; wilgoć ta przestaje być flegmatyzatorem, jakim byłaby, osadzając się tylko na zewnętrznych warstwach prochu.

Druga zaś zmiana od stopniowego i powolnego wnikania kamfory w głąb ziarna, zjawiska zachodzącego również w zwykłej temperaturze. Zauważono, że te zmiany są tem większe im więcej pozostało rozpuszczalnika w prochu. Dlatego też należy najpierw możliwie dobrze wysuszyć proch, a następnie nawilżyć go do przepisowej normy. To posuwanie się kamfory, w razie prochu cokolwiek za płytko kamforyzowanego, wpływa na polepszenie jego własności balistycznych, natomiast w razie zbyt głębokiej kamforyzacji — pogarsza proch. Dlatego też lepiej jest cokolwiek nie dokamforyzować prochu, niż przekamforyzować.

Niektóre wytwórnie w celu usunięcia rozpuszczalnika z gotowego prochu stosują moczenie 40—50° C.

Takie moczenie w stosunkowo niskiej temperaturze ma na celu głównie utrwalenie balistycznych własności prochu i dlatego nie należy utożsamiać takiego moczenia z moczeniem w wysokiej temperaturze (80° C), które ma na celu polepszenie własności balistycznych.

623.452+662.31

Inż. GŁOWACKA MARJA.

O CZTEROAZOTANIE PENTAERYTRYTU

W okresie coraz dalej idącej mechanizacji środków walki, prowadzącej do przewagi uzbrojenia maszynowego na lądzie, wodzie i w powietrzu powstały nowe zagadnienia, dotyczące odporności pancerza a działania pocisku.

By przebić nowoczesny pancerz konieczne [1]) są — większa energja wylotowa i potężniejsze ładunki kruszące, aniżeli stosowane dotychczas.

Zarówno a) szybkość wylotowa, jak i b) kaliber pocisku nie mogą być dowolnie powiększane dla działek małokalibrowych, a to z powodu a) szybkiego zużycia lufy i b) zwiększenia ciężaru działek.

Pozostaje więc zwiększyć siłę kruszącą, nie zmieniając ciężaru pocisku, co można uskutecznić przez zastosowanie silniejszego materjału wybuchowego.

Pożądany materjał kruszący winien odpowiadać pewnym warunkom: a mianowicie posiadać: 1) duży zasób energji, 2) znaczną szybkość detonacji, poza tem wchodzą w grę 3) łatwość sprasowania do znacznej gęstości, 4) bezpieczeństwo przy strzale, 5) łatwość otrzymywania w kraju surowca i taniość produkcji.

Wojskowa chemja materjałów wybuchowych, która doniedawna szukała odpowiednich materjałów prawie wyłącznie w dziedzinie aromatycznych nitrozwiązków, ostatnio zwróciła się do produktów nitracji związków alifatycznych.

W dużej mierze wyżej wymienionym warunkom odpowiada, już

---

[1]) Nie biorąc tu pod uwagę innych kapitalnych w tym względzie czynników, jak kształt pocisku, metal i t. d.

dawniej znany, azotan pentaerytrytu (czteronitropentaerytryt), któremu Stettbacher proponuje nadać nazwę p e n t r y t u. Metody otrzymywania pentrytu, podane przez Stettbachera, również znane są od dłuższego czasu, jednak produkt ten pomimo dużych zalet nie mógł znaleźć praktycznego zastosowania z powodu zbyt wysokiej ceny surowców do wyrobu pentaerytrytu: formaliny i aldehydu octowego. Dopiero gdy w międzyczasie wielki przemysł zaczął produkować powyższe surowce nowemi, tańszemi metodami, zainteresowanie pentrytem w sferach wojskowych i technicznych wzrosło.

Pentryt, nietylko, że posiada najwyższą, z pośród znanych materjałów kruszących, szybkość detonacji, ale i z punktu widzenia techniki wybuchowej przewyższa inne materjały używane do napełniania granatów, co jest uwidocznione na poniższem zestawieniu Kast'a.

Materjały wyb.	Gęstość ładun.	Ciepło wybuch. kg./cal.	Temper. wybuchu w C^0	Objętość gazów wyb. w litrach.	Szybkośc detonacji	Wybrzuszenie w bloku Trauzl.
Trójnitrotoluen	1,59	950	2820	690	6700	285
Tetranitrometyloanilin.	1,63	1050	3370	710	7200	340
Nitrogliceryna	1,60	1485	4250	715	7450	515
Azotan pentaetyrytu.	1,62	1403	4300	785	ok. 8400	470

Chociaż ciepło wybuchu ciekłej nitrogliceryny jest większe niż czteronitropentaerytrytu, to jednak większa szybkość detonacji stawia go na pierwszem miejscu śród materjałów kruszących do celów wojskowych.

Produktem wyjściowym dla pentrytu jest pentaerytryt, pięciowęglowy alkohol, otrzymywany bardzo prostą metodą z formaldehydu i aldehydu octowego.

Nitracja pentaerytrytu zachodzi według następującego równania:

$$C(CH_2OH)_4 + 4HNO_3 = C(CH_2ONO_2)_4 + 4H_2O$$

$$\begin{array}{llll} (136{,}1)\ \text{cz.} + & (252{,}1)\ \text{cz.} = & (316{,}2)\ \text{cz.} + & (72)\ \text{cz.} \\ \text{lub } 100\ \text{cz.} & 185{,}2\ \text{cz.} & 232{,}7\ \text{cz.} & 52{,}9\ \text{cz.} \end{array} \text{(teoretycznie)}$$

w praktyce ze 100 gr pentaerytrytu i 400 cm^3 kwasu azotowego otrzymuje się 225 gr pentrytu, co odpowiada 97% wydajności (dla surowego produktu).

Pentaerytryt jest ciałem białem, grubokrystalicznem; chemicznie czysty produkt topi się w 253^0 C; już niewielkie zanieczyszczenia znacznie obniżają punkt topnienia. Do wyrobu pentrytu używał

Stettbacher pentaerytrytu technicznego o p. top. 243°—248° C, produkowanego obecnie technicznie przez szwajcarską fabrykę Turgi, według własnego patentu.

W przeciwieństwie do alkoholów ciekłych, — gliceryny lub glikolu, stały pentaerytryt nie może być nitrowany zapomocą mieszanki nitracyjnej, gdyż w zetknięciu z nią tworzy produkt zbity, ciągliwy, trudny do oczyszczenia. W nadmiarze stężonego kwasu azotowego, HNO_3, (c. wł. 1,50—1,52) zachodzi częściowo estryfikacja, przyczem utworzony ester prawie całkowicie rozpuszcza się w kwasie. Podczas stopniowego dodawania kwasu siarkowego, H_2SO_4 (c. wł. 1,84), azotan pentaerytrytu wydziela się jako drobnoziarnisty proszek.

Wobec tego, że surowce do wyrobu pentaerytrytu, — aldehydy: mrówkowy, HCOH, i octowy, $CH_3.COH$, są otrzymywane z surowców, rozpowszechnionych w kraju, a poza tem przy wyrobie pentaerytrytu stosowana jest prostsza aparatura niż przy wyrobie dwumetyloaniliny, produktu wyjściowego przy otrzymywaniu tetrylu, zrozumiałe jest zainteresowanie się u nas pentaerytrytem i jego estrem azotowym.

Prace, przeprowadzone w Centrali Badań Laboratoryjnych Instytutu Badań Materjałów Uzbrojenia, miały przedewszystkiem na celu sprawdzenie podanych w literaturze metod otrzymywania pentaerytrytu i jego nitracji.

Otrzymywano pentaerytryt następującemi metodami:

M e t o d a I.

(Naoum, Nitroglycerin und Nitroglycerin-sprengstoffe, str. 222).

Do wyrobu brano:

9 litrów wody,
485 gr. 40% formaliny,
80 gr 80% aldehydu octowego,
161 gr tlenku wapnia (jako $Ca(OH)_2$).

Po zmieszaniu w balonie szklanym pozostawiano mieszaninę na 3 tygodnie, od czasu do czasu wstrząsając. Zachodzi kondensacja aldehydów zgodnie z następującą reakcją: $8CH_2O + 2CH_3COH + Ca(OH)_2 = 2C(CH_2OH)_4 + Ca(HCOO)_2$. Po upływie tego czasu dodano kwasu szczawiowego w celu wytrącenia rozpuszczonego wapnia. Po zlaniu cieczy od osadu sączono ją. Przesącz odparowywano na łaźni wodnej pod zmniejszonem ciśnieniem, następnie zostawiano go do wykrystalizowania. Ług pokrystaliczny zagęszczano na łaźni wod-

nej pod zwykłem ciśnieniem, chłodzono i zostawiano do wykrystalizowania; tą drogą otrzymywano II-gą porcję kryształów.

Surowy produkt odsączano, następnie przekrystalizowywano jeszcze raz z wody, przemywano starannie alkoholem. Otrzymano produkt o p. top. 238° C. Wydajność uzyskana wynosiła 67,6% w stosunku do teoretycznej. Z podanej ilości surowców uzyskano 94 gr pentaerytrytu.

M e t o d a II.

(„Organic Syntheses", tom IV, str. 53, New York 1925).
(Opracowana w laboratorjum Picatinny Arsenal).

Do zlewki dwulitrowej, zaopatrzonej w dobre mieszadło, wlano: 1 litr wody, 560 gr technicznej formaliny (35—40%) i 63 gr aldehydu octowego (t. wrz. 20°—22°). Do tej mieszaniny dodawano w ciągu 30 minut wciąż mieszając 47,5 gr łatwo lasującego się wapna, CaO, w najlepszym gatunku, poprzednio zadanego taką ilością wody, aby otrzymać subtelny proszek (p. uwaga 1).

Podczas dodawania wapna temperaturę mieszaniny podnoszono (p. uwaga 2) do 60°—65° i utrzymywano na tej wysokości w ciągu dwóch godzin, po dodaniu całej ilości wapna (p. uwaga 3).

Potem oziębiano mieszaninę zzewnątrz zimną wodą i dodawano około 170 gr zimnego 50% kwasu siarkowego, H_2SO_4, aż dopóki przesączona próbka przestawała dawać osad siarczanu wapnia, $CaSO_4$, z kwasem siarkowym. Odsączano i myto zimną wodą. W przesączu strącano resztę wapnia, dodając nasyconego roztworu kwasu szczawiowego (p. uwaga 4).

Otrzymany klarowny, na żółto zabarwiony przesącz (p. uwaga 5) stężano pod próżnią na łaźni wodnej do objętości 250 cm³. Po oziębieniu i wykrystalizowaniu odsączano krystaliczny osad na pompce wodnej i myto alkoholem metylowym, albo też 95% etylowym (p. uwaga 6) w małych porcjach, aż do otrzymania bezbarwnego przesączu.

Otrzymano produktu 92 gr (57,18% teoretycznej ilości). Produkt topił się bez rozkładu w T. 238°—240° (p. uwaga 7). Przesącz i wody od przemywania razem stężano dalej (p. uwaga 8) do konsystencji syropu, z którego przez oziębianie wykrystalizowała druga porcja około 10 gr; myto ją jak poprzednio i krystalizowano (ponieważ była żółtawa) z równej ilości wody.

Ogólna wydajność produktu o p. t. 238° C stanowiła 97 gr.

U w a g i.

1. Wapno można sproszkować mechanicznie, jednak lepiej jest zamienić je w proszek przez ostrożne dodawanie wody.
2. Jeżeli użyto wapna mechanicznie sproszkowanego, podgrzewanie jest zbyteczne; temperaturę kontroluje się szybkością dodawania CaO.
   Nie należy przekraczać temperatury 65° C, gdyż powoduje to mniejszą wydajność.
3. Po godzinie pozostawania w 60°—65 C początkowo szary kolor mieszaniny przechodzi szybko w żółty; jednocześnie zanika w dużym stopniu zapach aldehydów.
4. Obecność małego nadmiaru kwasu szczawiowego jest dopuszczalna, ponieważ nie przeszkadza on w dalszych operacjach; zasadnicze jest usunięcie wszelkich soli wapniowych, które mogłyby zanieczyścić produkt ostateczny.
5. Można tu odbarwiać płyn węglem kostnym.
6. Około 0,2 litra alkoholu etylowego zużywa się do mycia. Alkohol na zimno nie rozpuszcza pentaerytrytu, a usuwa tylko produkty oleiste polimeryzacji aldehydów.
7. Produkt jest dostatecznie czysty dla większości celów; można go przekrystalizować z wrzącej wody.
8. Można przy tej okazji regenerować alkohol, dystylując wody od przemywania oddzielnie.

Przebieg procesu nitracji pentaerytrytu.

$$(C(CH_2OH)_4 + 4HNO_3 = C(CH_2ONO_2) + 4H_2O).$$

100 gr pentaerytrytu, uprzednio sproszkowanego w moździerzu porcelanowym, wprowadzano porcjami, wciąż mieszając, do 400 cm^3 dymiącego kwasu azotowego HNO_3 (c. wł. 1,50), chłodząc mieszaninę wodą z lodem, tak, by temperatura nie przekroczyła 35° C, gdyż wtedy mogłoby nastąpić spalenie produktu.

(Z drugiej strony w razie użycia kwasu mniej stężonego (c. wł. 1,48) łatwo zachodzi rozkład produktu). Przy zastosowaniu mieszadła, wprowadzenie pentaerytrytu do studzonego kwasu azotowego trwa około 30 minut, przyczem temperatura rzadko kiedy podnosi się wyżej 20° C.

Do otrzymanego żółtego produktu reakcji, który zawiera część estru w roztworze, część zaś pod postacią osadu krystalicznego, dodawano stopniowo 400 cm^3 stężonego kwasu siarkowego, H_2SO_4, dbając i tym razem, by temperatura nie przekroczyła 25°—35° C. W wyższej temperaturze może zajść zesmolenie się produktu.

W miarę dodawania H_2SO_4 ciecz staje się coraz bardziej klarowną, czteroazotan pentaerytrytu wydziela się pod postacią drobnych kryształków, których część pływa na powierzchni cieczy. Po odstaniu się w ciągu kilku godzin (najmniej 1 godziny), otrzymany produkt odsączano od mieszanki kwasowej przez azbest, watę szklaną lub sączki szklane z porowatem porcelanowem dnem. Wydzielenie estru jest prawie całkowite; ani zwiększenie ilości H_2SO_4, ani przedłużenie okresu odstawania wydajności nie powiększa. Po starannem odessaniu resztek mieszanki (przy zastosowaniu próżni) masę krystaliczną, zawierającą dość znaczną jeszcze ilość kwasów nitrujących, wprowadzano do wody z lodem (około 1 litra) i mieszano energicznie, zanurzając pływające kryształki pałeczką w celu uniknięcia rozkładu, związanego z wydzielaniem się tlenków azotu. Usuwanie kwasu azotowego, HNO_3, zapomocą kwasu siarkowego nie jest wskazane, gdyż sączenie przez grubą warstwę drobnych kryształków jest dość uciążliwe. W dostatecznej ilości wody z lodem ester opada na dno, pod postacią białego pulchnego proszku. Odsączano go przez lejek Büchnera, przemywano wielokrotnie wodą, aż do zaniku śladów kwasu w przesączu. Otrzymywano 210 do 225 gr produktu, to jest od 95% do 98% teoretycznej wydajności. Wydzielone z mieszanki kwasowej kryształy azotanu pentaerytrytu mają kształt ośmiościanów, o c. wł. 1,73—1,74.

Surowy pentryt zawiera zawsze ślady kwasów, których nie można całkowicie usunąć, ani drogą ogrzewania z wodą, ani nawet z roztworami o odczynie zasadowym. W celu całkowitej stabilizacji azotanu pentaerytrytu rozpuszczano go w acetonie i zobojętniano ten roztwór.

W tym celu 100 gr surowego estru rozpuszczano w 350—400 cm^3 acetonu i dodawano 3—4 gr węglanu amonu. Po wydzieleniu się bezwodnika kwasu węglowego ciecz zabarwiała się na kolor żółto-brunatny, co było wskaźnikiem, że zawarte w roztworze kwasy zostały zobojętnione.

Roztwór sączono przez bibułę, przesącz zaś wlewano, energicznie mieszając, do podwójnej ilości wody dystylowanej. Czysty pentryt wydzielał się wtedy pod postacią drobnych kryształków.

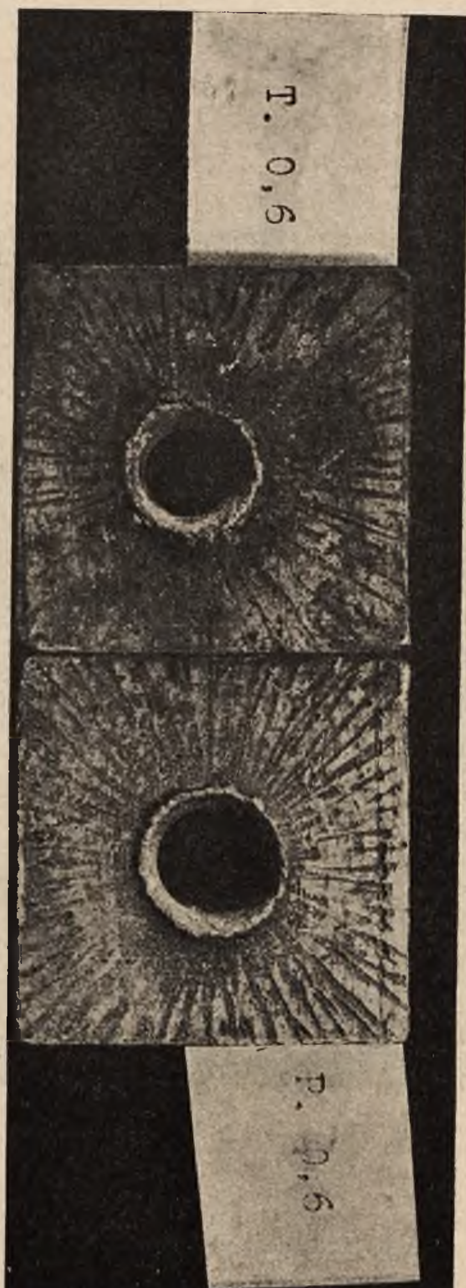
Po odsączeniu na lejku Büchnera, osad przemywano kilkakrotnie wodą, następnie suszono na bibule. Wydajność wynosiła od 92—95% teoretycznej.

Można również oczyszczać pentryt przez krystalizowanie go z 90% alkoholu. Wtedy jednak wydajność jest gorsza i otrzymuje się produkt o kryształach w postaci igieł — niebezpieczniejszy przy sprasowywaniu. Czy zwiększona wrażliwość zależy od formy krystalicznej, czy też od śladów pozostałego alkoholu, nie jest rzeczą rozstrzygniętą. Kryształy większych rozmiarów mogą być otrzymane jedynie z roztworu acetonowego. Oczyszczony pentryt nie rozpuszcza się w wodzie, bardzo trudno w alkoholu i eterze, jedynie łatwo w acetonie. Topi się w temp. 140°—141° C, tworząc ciężki bezbarwny olej. Powyżej punktu topliwości zaczyna się powolny rozkład pentrytu: w 160° —170° C ciecz pieni się i wydziela dwutlenek azotu, NO_2. Pentryt odznacza się dużą stałością chemiczną, wytrzymuje próbę Able'a w ciągu szeregu godzin w temperaturze 80° C, może być tygodniami trzymany bez rozkładu w temp. 75° C, podczas gdy analogiczny nitroalkohol, — nitromannit, już po niewielu godzinach wydziela tlenki azotu, a najstaranniej odmyta od kwasów nitrogliceryna już po 30 minutach w temp. 72° C powoduje brunatne zabarwienie papierka jodoskrobiowego. Tę niezwykłą stałość przypisać należy swoistej budowie pentaerytrytu, w którym grupy oksymetylenowe (CH_2OH) zajmują położenie symetryczne względem centralnego czterowartościowego węgla:

$$
\begin{array}{c}
CH_2OH \\
| \\
HO - CH_2 - C - CH_2OH \\
| \\
CH_2\,OH
\end{array}
$$

Wobec wysokiego punktu topliwości i związanego z tem niebezpieczeństwem rozkładu pentryt do celów pirotechnicznych nie może być użyty w stanie stopionym, a tylko jako prasowany.

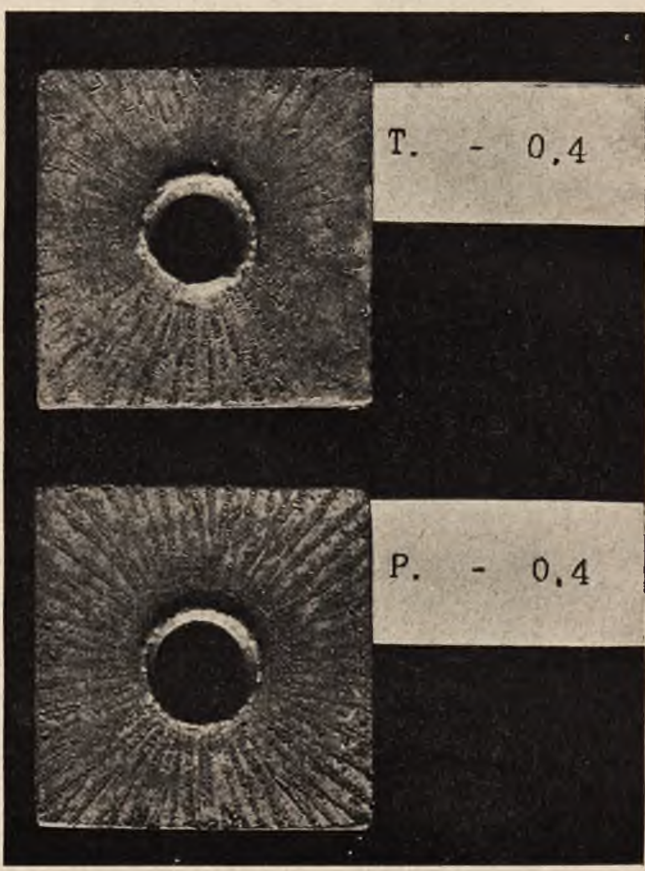
Kryształy pentrytu są nadzwyczaj kruche i przy prasowaniu łamią się na bardzo liczne mniejsze zespoły. W razie drobniejszych kryształów, więcej zaprasowuje się z niemi powietrza, które ulega znacznemu rozgrzaniu i cieniutkie igiełki pentrytu mogą być doprowadzone do temperatury rozkładu, zanim rozpocznie się chłodzące działanie otoczenia, po zaprzestaniu prasowania. Wobec powyższego zagęszczanie ładunku musi być przeprowadzane ostrożnie. Powyższy pogląd znajduje potwierdzenie w tem, że skoro tylko zostanie osiąg-



Rys. 1.

nięty pewien stopień sprasowania, dalsze zwiększenie ciśnienia przestaje być niebezpieczne. Ładunki pentrytu sprasowane zapomocą 3000—4000 atmosfer detonują trudniej i są bezpieczne przy strzale.

Pierwsze próby z pentrytem zostały u nas przeprowadzone przy współudziale fabryki „Pocisk" z kapslami Nr. 8 (w spłonkach górniczych) porównawczo z trotylem, przyczem stosowano jako zapał pio-



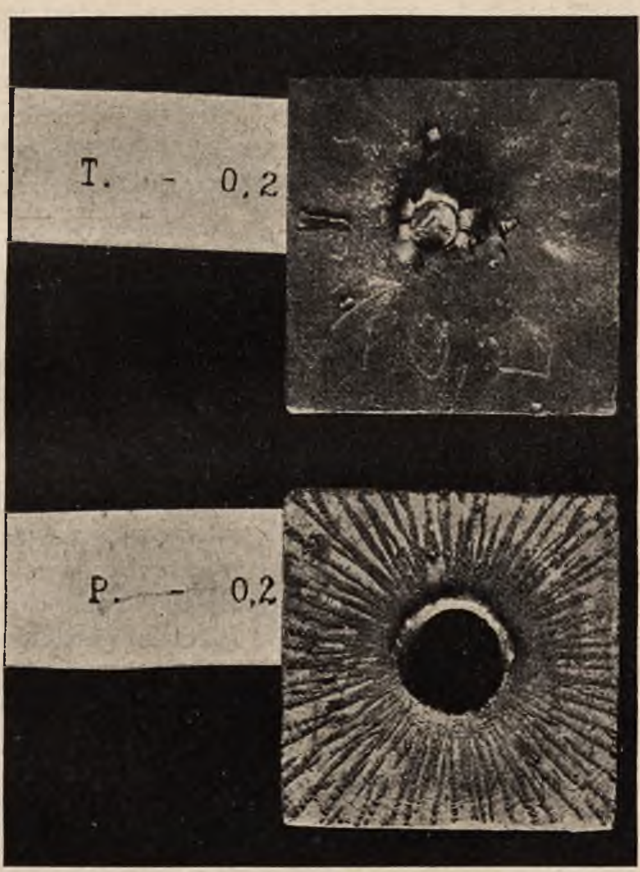
Rys. 2.

runian rtęci, próbując na przebicie płytki ołowianej (45×45×7 mm).

Brano do prób kapsle górnicze normalne (tulejka mosiężna, ładunek trotylu 1 gr o gęstości normalnej i 0,6 gr piorunianu rtęci również o gęstości normalnej, stosowanej przy wyrobie spłonek górniczych).

Powyższe kapsle w porównaniu ze spłonkami, do których zamiast 1 gr trotylu użyto 1 gr czteronitropentaerytrytu dały otwór w płytce ołowianej o średnicy mniejszej (rys. 1), o 0,04 mm.

W następnem doświadczeniu przy tej samej ilości trotylu lub pentrytu zmniejszano zapał do 0,4 gr piorunianu rtęci — efekt prze-



Rys. 3.

bicia płytki ołowianej dla pentrytu jak powyżej, dla trotylu słabszy, średnica otworu mniejsza o 1,5 mm (rys. 2).

Przy dalszem zmniejszaniu zapału do 0,2 gr piorunianu rtęci o gęstości normalnej, efekt przebicia płytki dla pentrytu był normalny, dla trotylu wszystkie wybuchy niezupełne, zatem 0,20 gr piorunianu okazało się niedostateczne do zdetonowania trotylu (rys. 3).

Z powyższych prób można wywnioskować, że dla spłonek pentrytowych wystarczy zapał o 0,2 gr piorunianu rtęci, gdy dla trotylu konieczne jest 0,6 gr.

Robiono również kilka prób porównawczych z kapslami tetrylowemi, gdzie zapałem była mieszanka rezorcynianu ołowiu i azydku ołowiu, i w tym wypadku wyniki doświadczeń wykazały wyższość pentrytu; należy jednak zaznaczyć, że używany tetryl był wyrobu wojennego.

Stettbacher spróbował zagęścić pentryt (o ciężarze grawimetrycznym 0,2—0,3) zapomocą ciekłego materjału wybuchowego, tak, by doprowadzić ziarnistą masę do gęstości 1,6. Do tego celu użył nitrogliceryny. Pentryt w temp. pokojowej rozpuszcza się w nitroglicerynie w ilości 2%, w temp. wyższej (75°—80° C) zwiększa się rozpuszczalność do 7%—8%. Dlatego też zostaje on przy zmieszaniu stosunkowo szybko zwilżony przez nitroglicerynę, a po krótkiem mieszaniu i kilkakrotnem lekkiem sprasowaniu zamienia się na jednorodną masę, mniej lub bardziej plastyczną, zależnie od ilości użytej nitrogliceryny. Pod mikroskopem można zauważyć, że ostre kanty i wierzchołki kryształów pentrytu są przytępione i wraz z bocznemi płaszczyznami, powleczone cienką warstwą oleju.

W tych masach plastycznych nitrogliceryna nie znajduje się w postaci czystej, zachowując swe charakterystyczne własności, jak np. w dynamicie okrzemkowym, lub żelatynie wybuchowej, z których zapomocą wysokiego ciśnienia można wydzielić krople czystego płynu, a tworzy jak gdyby nasycony lepki roztwór, przylegający ściśle do nadgryzionej powierzchni kryształów.

Równanie rozkładu wybuchowego pentrytu jest następujące:

$$\underset{(316,2)}{C(CH_2ONO_2)_4} = 3CO_2 + \underset{(56)}{2CO} + 4H_2O + 2N_2 \quad \text{[brak tlenu].}$$

$$(2CO + O_2 = 2CO_2 + 136 \text{ cal.})$$

zaś dla nitrogliceryny:

$$2C_3H_5(ONO_2)_3 = 6CO_2 + 5H_2O + 3N_2 + O \quad \text{(nadmiar tlenu).}$$

Teoretycznie zatem powinnaby najlepiej wybuchać mieszanina, składająca się z 4-ch cząsteczek nitrogliceryny i 1-ej cząsteczki pentrytu (74, 18% Ngl. + 25,82% pentrytu).

Okazuje się jednak, że tego rodzaju mieszanina detonuje słabiej, niż czysta nitrogliceryna; dopiero poczynając od odwrotnego stosunku, pentryt jest w możności przenieść swą niezwykle wysoką szybkość detonacji na nitroglicerynę. Pentryt, zmieszany z nitrogliceryną w stosunku 80 do 20 (lub 85 : 15), detonuje bezsprzecznie z najwięk-

szą szybkością i ze zwiększoną energją. Niżej podane są odpowiednie zestawienia.

	Pentryt	Pentrynit 80% : 20%	Pentrynit 85% : 15%	Nitrogliceryna
Ciepło wybuchu kg/cal.	1403,2	1448,5	1438,1	1485
Z tego na utlenienie CO przez wolny tlen z nitrogliceryny.	—	29,9	22,6	—
Objętość gazów zgodnie z prawem Avogardo w 0^0 i 760 mm w 1/kg.	779,6	761,7	766,3	715,7
Szybkość detonacji.	ok. 8400	ok. 8300	ok. 8300	7450

Pod względem więc energetycznym mieszanina 80% pentrytu i 20% nitrogliceryny posiada w porównaniu z czystym pentrytem ciepło wybuchu o 45,3 kal. większe. Stettbacher nazwał powyższą mieszaninę pentrynitem i zgłosił patent na jej wyrób i zastosowanie.

Mieszanina 80% pentrytu i 20% nitrogliceryny posiada gęstości: 1,2; 1,3 i 1,5, zależnie od tego czy ester stały był grubiej czy drobniej krystaliczny; przy zastosowaniu 600 atm. ciśnienia zostaje osiągnięta pożądana gęstość ładunku 1.69—1.70, którą sproszkowany czysty pentryt otrzymuje dopiero przy zastosowaniu ciśnienia 2500 atmosfer.

Pentryt, a jeszcze bardziej pentrynit, zaliczają się do najsilniejszych materjałów kruszących obecnych czasów. Przy górnej gęstości ładowania i w odniesieniu na jednostkę litrową wykazuje pentrynit w przeciwieństwie do nitrogliceryny lub dwunitroglikolu nadwyżkę około 130 kal. ciepła wybuchu i 800 do 1000 m/sek. szybkości detonacyjnej. Szczególnie przez praktykę cenioną zaletą pentrynitu jest małe ciśnienie, potrzebne do nadania maksymalnej gęstości (600 atm.). Do napełniania kapsli wybuchowych i detonatorów wystarcza przeważnie ciśnienie 200—300 atm., a do granatów ręcznych jeszcze mniejsze. Ładunki z pentrynitem dają się bez występowania zjawiska wypacania nitrogliceryny ogrzewać tygodniami do temp. 40—50^0 C.

Pentrynit przewyższa w trwałości magazynowania każdą mieszaninę bawełny strzelniczej i nitrogliceryny, ponieważ składa się w 80% — 85% z wysoce stałego chemicznie pentrytu; poza tem nitrogliceryna przy mieszaniu ze stałym estrem nie zostaje ogrzewana i przez to doprowadzona do granicy rozkładu, jak np. przy wyrobie żelatyny wybuchowej, albo prochów nitroglicerynowych. Wysoka si-

ła krusząca pentrynitu winna być specjalnie uwzględniona w pociskach przeciwpancernych działek małokalibrowych. Tu staje się wobec dwóch koncepcyj: albo pozostawić ten sam ciężar ładunku materjału kruszącego, wtedy energja wybuchowa ładunku wzmoże się o 65% powyżej energji takiegoż ładunku trotylu, albo też zwiększyć ciężar skorupy pocisku w tym stopniu, aby ze zmniejszonym ładunkiem silniejszego materjału wybuchowego osiągnąć siłę kruszącą taką, jak przy ładunku trotylowym. Ta ostatnia koncepcja prowadzi do pocisku o lepszym spółczynniku balistycznym (z powodu zwiększenia obciążenia poprzecznego) oraz o budowie skorupy, dającej większą gwarancję przebicia pancerza.

Granaty, ładowane pentrynitem, dadzą zapewne duże korzyści przy strzale na większe odległości i wysuną się na pierwszy plan Z prostego obliczenia wynika, że 10 gr pentrynitu, o objętości ładowania 5,8 cm^3 w stugramowym dwucentymetrowym ładunku powoduje to samo działanie, co i 16,5 gr trotylu (o 10,4 cm^3 objętości), gdy zatem zastosuje się ładunek pentrynitowy, to uzyskuje się 10,4 cm^3 — 5,8 cm^3 = 4,6 cm^3 przestrzeni wolnej; jeżeli zapełnimy ją stalą, to biorąc pod uwagę ciężar właściwy stali t. j. = 7,80, da to o 36 gr zwiększony ciężar pocisku mniej 6,5 gr zastąpionej ilości trotylu. Stalowa skorupa posiada przyrost ciężaru 36 gr i, pomimo tego wzmocnienia, pocisk taki zostanie tak samo rozerwany, jak ładowany trotylem, gdyż pentrynit posiada o przeszło 1200 m/sek. większą szybkość detonacji, aniżeli trotyl, — nie mówiąc już o korzyściach z odłamków o większym ciężarze.

Zasługuje na uwagę fakt, że tylko mieszanina nitrogliceryny z pentrytem daje dobre wyniki. Te same 20% nitrogliceryny dodane do trotylu lub kwasu pikrynowego nietylko nie wzmacniają ich siły kruszącej, a przeciwnie, przeszkadzają ich całkowitej detonacji.

Pentryt ze względu na swe własności, nadaje się również do wyrobu lontów, które nie różnią się zewnętrznie od lekkich lontów, przenoszących falę detonacyjną z szybkością 5400 m, podczas gdy pentrynitowe z szybkością 7 do 8000 m.

Wyrobem lontów pentrytowych zajmuje się Rheinisch Westfälische Sprengstoff Aktien-Gesellschaft, Köln.

Pentryt na skalę fabryczną wyrabia szwedzkie akcyjne towarzystwo Nobelkrut Bofors, które sprzedaje czteronitropentaerytryt pod nazwą pentylu po 15 koron szwedzkich za 1 kg.

L i t e r a t u r a:

Naoum: Nitroglycerin und Nitroglycerinsprengstoffe.
Organic Syntheses. Rok 1925. Tom IV.
Friedländer: Fortschritte der Teerfarbenfabrikation.
Artykuły Stettbachera: Ztsch. für ang. Chemie. 1928 r. Nr. 26.
Ztsch. für ges. Schiess u. Spreng. W. X. 1928 r., str. 345.
Chemiker Zeitung. 1929 r. Nr. 55 i 57.

623.452+662.31

Inż. MARKIEWICZ STANISŁAW i Kpt. Inż. ŚMIŚNIEWICZ TADEUSZ.

O WYKORZYSTANIU PRAKTYCZNEM STARYCH PROCHÓW NITROGLICERYNOWYCH

Po wielkiej wojnie, we wszystkich państwach biorących w niej udział, pozostały znaczne zapasy niezużytych prochów nitrocelulozowych i nitroglicerynowych.

Prochy te pochodziły z produkcji wojennej, obliczonej na natychmiastowe zużycie. W okresie wojennym nie stawiano dla prochów zbyt wysokich wymagań odnośnie ich stałości, gdyż wyprodukowany materjał zostawał tylko krótko w magazynach i w przeciągu bardzo krótkiego czasu był zużywany na froncie tak, że wytwórnie nie mogły podołać rosnącym stale zapotrzebowaniom. Pomimo zawieszenia broni, produkcja prochów nie została całkowicie zatrzymana i z chwilą zawarcia pokoju we wszystkich państwach istniały znaczne, a nieraz wprost olbrzymie zapasy. O dłuższem ich przechowywaniu nie można było myśleć, ze względu na grożące niebezpieczeństwo samozapalenia niedostatecznie ustabilizowanej nitrocelulozy, względnie prochu. Palącem więc zagadnieniem było wynalezienie jakiegoś sposobu wykorzystania nagromadzonych w magazynach zapasów prochowych, względnie nitrocelulozy.

Jak niedostatecznie były stabilizowane prochy bezdymne nitrocelulozowe i nitroglicerynowe produkcji wojennej, mieliśmy pouczające, choć straszliwe przykłady wybuchów magazynów prochowych w Stanach Zjednoczonych A. P., we Francji w Bergerac i wielu innych.

Proch bezdymny nitrocelulozowy, czy też nitroglicerynowy jest to produkt bardzo drogi, ze względu na cenne składniki, które za-

wiera. Niestety zregenerowanie tych składników, w stanie dostatecznie czystym, zezwalającym na dalsze wykorzystanie, jest rzeczą niezmiernie trudną, jeśli nie wręcz niemożliwą.

Wobec powyższego, szukano innych dróg odzyskania, choć w części uwięzionego w prochu kapitału.

Najprościej było: sprzedać pozostałe prochy państwom, które jeszcze prowadziły wojny, jak Polska, Republika Sowietów, Chiny i inne. Zapotrzebowanie wojenne tych państw było jednak stosunkowo niewielkie, wobec istniejących zapasów.

We Francji i Rosji stosowano częściowo zatapianie prochów w opakowaniach z otworami dla przepływu wody. Niska i stała temperatura, panująca na dnie wód, zmniejsza szybkość rozkładu prochów, a przepływająca woda unosiła produkty rozkładu.

Wreszcie próbowano, szczególnie w Europie, przerabiać stare prochy w najrozmaitszy sposób. Pomimo to wszystko, wielkie ilości prochów musiano spalić.

Część prochów przerabiano na prochy myśliwskie lub ćwiczebne. Oczywiście, że tylko niewielka część pozostałych zapasów mogła być w ten sposób wykorzystana, ze względu na stosunkowo niewielkie zapotrzebawania rynkowe na te materjały.

Dr. Voss w Nr. 11. Z. für Ges. Sch. und Sprengstoffwesen z 1925 r. zestawia niektóre metody przerabiania starych prochów. Są one tem ciekawsze, że wskazują też na różne możliwości wyzyskania odpadków prochowych, jak również i nitrocelulozy odpadkowej.

Przedewszystkiem próbowano dodawać zmielone prochy do różnych materjałów kruszących (VOITH. D. R. P. 292382 i 301798).

Do wielce interesujących sposobów wyzyskania starych prochów, względnie nitrocelulozy wojskowej, należy zaliczyć przerób ich na masy plastyczne o własnościach miękkiej lub twardej gumy. W tym celu stosowano gotowanie niektórych prochów z olejami ketonowemi .Następnie dodawano jeszcze odpowiednich niepalnych żelatynizatorów, obojętnych ciał obciążających (Füllstoffe) i różnych barwników. Wiele różnych metod otrzymywania tych ciał plastycznych zostało zabepieczonych licznemi patentami. Udało się również otrzymać produkt podobny ze swych własności do linoleum, był on tylko mniej wytrzymały na działanie promieni świetlnych. Próbowano na tej drodze otrzymywać nawet filmy, które okazały się jednak zbyt łamliwe. Szereg innych metod zostało opatentowanych przez Wytwórnie Rottweilera i fabrykę w Troisdorff (E. P. 155778, 156095, 156096, D. R. P. 379299 i inne).

O ile chodzi o prochy nitroglicerynowe, to przedewszystkiem próbowano po uprzedniem rozdrobnieniu dodawać ich do żelatyny wybuchowej lub innych materjałów kruszących. Sposób ten został opatentowany (D. R. P. 337461 z 1919 r.) przez Centralę Badawczą w Neubabelsberg, przyczem rozdrobnienie przeprowadzano przez zastosowanie moczenia w furfurolu. Westtfalsko-Anhalcka Fabryka Materjałów Kruszących stosowała ekstrakcję prochów nitroglicerynowych eterem w celu odzyskania nitrogliceryny i przerobu pozostałej nitrocelulozy na masy plastyczne (D. R. P. 337383). Otrzymana w ten spoosób nitrogliceryna jest w złym gatunku, gdyż jest zanieczyszczona różnemi dodatkami zawsze znajdującemi się w prochu. Do najłatwiejszych sposobów przeróbki prochów nitroglicerynowych należy bezsprzecznie mielenie ich pod wodą na młynkach typu „Excelsior". Tak zmielone prochy nitroglicerynowe stanowiły już dobry i silny materjał kruszący. W celu ułatwienia patronowania dodawano 50% roztworu azotanu wapnia. Tak otrzymany materjał wybuchowy górniczy został nazwany Nitroglicerinpulver I i znajduje się w pruskim, oficjalnie zatwierdzonym spisie pod LP. 35. (Das Sprengstoffwesen im Preussischen Bergbau 1924 r.). W tym samym spisie materjały wybuchowe oznaczone liczbą porządkową 36 i 37 posiadają jako główny składnik mielone prochy nitroglicerynowe. (Nitroglicerinpulver 2 i Pyrolit I). Materjał LP. 36 zawiera oprócz prochu mielonego jeszcze 1—3% pochodnych mocznika, zaś Pyrolit I zawiera gips i saletrę sodową lub potasową. Pierwszy jest produkowany jedynie przez wytwórnie Spółki Westfalsko-Anhalckiej (D. R. P. 332284). Rottweilerowskie wytwórnie opatentowały (D. R. P. 337495) ciekawy sposób otrzymywania materjałów kruszących przez mieszanie i przerabianie mielonych prochów z płynnemi związkami aromatycznemi. Otrzymaną w ten sposób żelatynę miesza się następnie z nośnikami tlenu i ciałami obojętnemi i otrzymuje plastyczne i bezpieczne materjały kruszące górnicze.

Istnieje nadto cała grupa metod o charakterze chemicznym, które polegają na działaniu alkaljami lub kwasami, przyczem odzyskuje się tylko niektóre ze składników prochu, który przytem ulega dalekoidącemu rozkładowi.

W tym krótkim przeglądzie poruszyliśmy tylko część metod i sposobów stosowanych do przeróbki starych prochów, aby zwrócić uwagę na różne możliwości techniczne, które można zastosować, chcąc uniknąć prostego niszczenia starych, niedostatecznie stałych prochów przez spalenie.

Chociaż nasze zapasy powojenne różnych prochów nie mogą się równać co do wielkości z zapasami pozostałemi w różnych państwach po skończonej wojnie, to jednak nie są one tak małe, aby nie warto pomyśleć nad znalezieniem sposobów odpowiedniego ich wykorzystania, zanim służba kontroli stałości prochów przeznaczy je na spalenie.

W roku ubiegłym por. Hołowacz z Dep. Uzbr. M. S. Wojsk zwrócił uwagę dyrektora technicznego P. W. P. i M. K., pierwszego autora niniejszego artykułu na możliwość wykorzystania starych prochów nitroglicerynowych jako materjału kruszącego. Opierając się na osobistych spostrzeżeniach i badaniach, proponował zastosować mielenie tych prochów i wypróbowanie ich w tym stanie, jako materjału do napełniania granatów ręcznych, petard do „markowania" ognia artylerji i t. p.

Zagadnienie było ciekawe i przystąpiono natychmiast do prób i doświadczeń, przyczem w celu szybszej realizacji pomysłu role zostały rozdzielone. Dzięki temu podziałowi pracy w ciągu paru miesięcy zagadnienie zostało pomyślnie rozwiązane.

W celu przeprowadzenia niezbędnych prób otrzymano z wojskowych magazynów większe ilości różnych starych prochów nitroglicerynowych, pochodzących z produkcji wojennej niemieckiej, austrjackiej lub włoskiej.

Narazie przeprowadzono próby z następującemi trzema gatunkami prochów:

1) proch działowy S 93 w postaci płytek 2×6×6 mm grafitowanych,

2) proch działowy włoski w postaci płytek 2×20×20 mm niegrafitowanych,

3) proch działowy niemiecki rurkowy ∅ 9 mm, dł. 223 mm niegrafitowanych.

Pierwszym problemem technologicznym, który nasuwał się, było opracowanie metody mielenia tych prochów. Ponieważ powyższe prochy pochodziły z produkcji roku 1916 i znajdowały się na granicy dopuszczalnej stałości, przeto mielenie ich przedstawiało pewne niebezpieczeństwo. Należało znaleźć odpowiedni przyrząd, który pozwoliłby na bezpieczne przeprowadzenie tej operacji. Zastosowanie młynków stożkowych, jak np. Jordana, lub holendrów tych gwarancyj nie dawało, gdyż w czasie mielenia mogłyby zostać wyciśnięte z prochów niewielkie ilości nitrogliceryny, która gromadząc się w różnych wgłębieniach i zakamarkach aparatów lub przewodach pomp,

mogłaby w pewnej chwili spowodować niebezpieczny wybuch. Należało wybrać więc inne urządzenie do mielenia, które dałoby się łatwo oczyszczać i które nie wymagałoby stosowania pomp i rurociągów dla mielonej masy. Na wniosek inż. H. Zenftmana zastosowano młynek tarczowy firmy Schmeja w Bielsku. Chcąc uniknąć możliwości zapalenia się prochu w czasie mielenia, które łatwo mogłoby nastąpić skutkiem rozgrzewania się tarcz trących, inż. H. Zenftman zastosował doprowadzenie wody do leja, zasilającego w czasie mielenia prochu, zapomocą zwyczajnego węża gumowego. W ten sposób osiągnął zupełne bezpieczeństwo pracy, gdyż dopływająca zimna woda doskonale chłodziła tarcze młynka, zwilżała materjał prochowy, czyniąc go niepalnym i wreszcie utrzymywała w czystości całe urządzenie wewnętrzne młynka, zabezpieczając przed gromadzeniem się wśród zębów tarczy ewentualnych kropelek nitrogliceryny.

Zmielony proch wraz z wodą odchodził do skrzyń dekantacyjnych, w których łatwo oddzielał się od wody, osiadając na dnie. Po zmieleniu i oddzieleniu od wody suszono proch na wolnem powietrzu, gdzie osiągał swą naturalną wilgotność 0,2—0,4%.

Odpowiednie rozdrobnienie osiągano zwykle dopiero po kilkakrotnem mieleniu przez odpowiednie nastawienie tarcz młynka. Przeważnie mielenie musiano powtarzać pięciokrotnie zanim osiągnięto odpowiedni stopień rozdrobnienia.

Mielenie prochu rurkowego dało się uskutecznić dopiero po uprzedniem pokrajaniu go na drobne kawałki, co dało się dość łatwo przeprowadzić na krajalnicy systemu Krausego. Im płytki, czy ziarna prochowe były mniejsze, tem łatwiej osiągano żądane rozdrobnienie.

O rozdrobnieniu osiągalnem przez mielenie dają pojęcie poniższe liczby:

Po pięciokrotnem mieleniu ziarn 2×6×6 mm otrzymano ziarn większych od ½ mm, a mniejszych od 2 mm 97,5%

Po 5 × mieleniu płytek 2×20×20 otrzymano takich ziarn 87,4%

Po 5 × mieleniu pociętego prochu rurkowego wynik rozdrobnienia wyrażał się liczbą 57,0%

Z powyższych danych wynika, że przez odpowiednie uregulowanie procesu mielenia z łatwością można osiągnąć żądane rozdrobnienie.

Dla porównania podajemy, że dla wzmiankowanego materjału kruszącego t. zw. Nitroglicerinpulver 1, wymagane rozdrobnienie wyrażało się liczbą około 80% ziarn od ½ do 2 mm.

Skoro tylko udało się mielenie, przystąpiono do badań laboratoryjnych i strzelniczych. Już pierwsze orjentacyjne laboratoryjne próby inż. E. Łuczaka stwierdziły, że zmielone prochy posiadają dostateczną stałość i, że z tego względu są bezpieczne w użyciu. Badania orjentacyjne, przeprowadzone na strzelnicy, stwierdziły, że do detonacji zmielonych prochów wystarcza w zupełności spłonka Nr. 8, że materjał ten daje wydęcie w bloku Trauzla około 300 cm^3 do 400 cm^3, a szybkość detonacji dochodziła do 5300 m/sek.

Wyniki osiągnięte całkowicie potwierdziły słuszność wniosku por. Hołowacza i pozwoliły na uruchomienie produkcji mielonych prochów na większą skalę.

Na próbach orjentacyjnych jednak nie poprzestano, lecz przystąpiono do szczegółowych i systematycznych badań, które zostały wykonane w Laboratorjum Centralnem przez Dr. Inż. J. Kardaszewicza.

Szczegółowym badaniom poddano cztery następujące gatunki zmielonych prochów nitroglicerynowych:

1) proch działowy włoski w postaci płytek 2×20×20 o zawartości 49% nitrogliceryny — niegrafitowany;

2) proch działowy niemiecki w postaci płytek 1×3×3 mm o zawartości 40,6% nitrogliceryny — grafitowany;

3) proch działowy niemiecki krążkowy RgP 3×25×5 mm o zawartości 40,8% nitrogliceryny — grafitowany;

4) proch działowy niemiecki rurkowy o ∅ 9 mm i dł. 223 o zawartości 50,2% nitrogliceryny — niegrafitowany.

Prochy te zbadano przed zmieleniem, oglądając je dokładnie, następnie badano przy pomocy lupy, czy czasami nie wykazują plam wypoconej nitrogliceryny. We wszystkich wypadkach wynik był negatywny. Powierzchnie ziarn, płytek, krążków i rurek prochowych oglądanych przez lupę nie wykazały żadnych śladów, korozji lub wykwitów.

Całość przeprowadzonych badań laboratoryjnych i strzelniczych zmielonych prochów nitroglicerynowych można podzielić na trzy działy:

I. Badania nad stałością.

II. Badanie własności wybuchowych.

III. Badanie możliwości zastosowania mielonych prochów nitroglicerynowych do ładowania granatów ręcznych.

I. **Badania nad stałością mielonych** prochów nitroglicerynowych obejmowały: a) oznaczenie wpływu rozdrobnienia, b) wpływu wilgotności oraz c) wpływu dodatkowego moczenia w roztworze 5% sody lub nasyconej wodzie wapiennej.

A) Wpływ rozdrobnienia. Otrzymane w większej ilości zmielone prochy nitroglicerynowe, poddano przesiewaniu przez sita o oczkach 2 mm, 1 mm, ½ mm w celu otrzymania frakcyj o określonym stopniu rozdrobnienia. W ten sposób z każdego prochu otrzymano 4 frakcje następujące:

a) pozostałość na sicie o oczkach 2 mm
b) pozostałość na sicie o oczkach 1 mm
c) pozostałość na sicie o oczkach 0,5 mm
d) przesiew przez sito o oczkach 0,5 mm.

Badanie stałości przeprowadzono wg. t. zw. próby niemieckiej ogrzewając 2 gr próbkę zmielonego prochu w przepisowych probówkach w specjalnym termostacie nagrzanym do temperatury 120° C. Nad próbką umieszczano w próbówce normalny papierek metylfioletowy i notowano czas, po którym następowała zmiana barwy na kolor łososiny. Normalnie dla prochu dostatecznie stałego czas ten nie powinien być niższy niż 60 minut. Aby próba miała znaczenie objektywne, wszystkie prochy przed próbą były doprowadzane do wilgotności 0,2—0,3%. Wilgotność 0,2—0,4% jest to wilgotność naturalna tych prochów, które osiągają same, leżąc dłuższy czas bez opakowania w suchych magazynach.

Uzyskane w ten sposób wyniki daje tablica Nr. 1. Widzimy z niej, że proch 1 włoski płytkowy i 2 niemiecki płytkowy znajdują się już na dalszej granicy wymaganej stałości, zaś proch 3-krążkowy odznacza się pełną stałością nawet przy najsilniejszem rozdrobnieniu. Proch rurkowy wykazuje przy najsilniejszym stopniu rozdrobnienia lekkie obniżenie stałości poniżej wymaganej granicy.

Naogół można stwierdzić, że rozdrobnienie w pewnych granicach nie wywiera większego wpływu na stałość, natomiast przesiew przez sito o oczkach ½ mm wykazuje raptowny i znaczny spadek stałości, który wynosi od 10 do 20 minut w porównaniu z poprzednią frakcją pozostałą na tem sicie.

B) Wpływ wilgotności prochów. Chcąc oznaczyć wpływ wilgotności mielonych prochów nitroglicerynowych na ich stałość, nawilżano je sztucznie. W tym celu oznaczono najpierw właściwą wilgotność

TABLICA Nr. 1.

Stałość mielonych prochów nitroglicerynowych oznaczona przy 120°.

Charakterystyka prochu	Ilość prób	Ciężar próbki	Czas do zabarw.	Wynik średni	Uwagi
1) Proch włoski 2 × 20 × 20 wilgoć 0,2—0,3%		2 gr	58′		
a) pozostałość na sicie 2 mm	2	,,	60′	59′	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	2	,, ,,	60′ 60′	60′	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	2	,, ,,	57′ 57′	57′	
d) przesiew z sita 0,5 ,,	2	,, ,,	42′ 42	42′	
2) Proch niemiecki płytkowy 1×3×3 wilg. 0,2×0,3% . .		2 gr	61′		
a) pozostał. na sicie 2 mm	2	,,	56′	58′	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	2	,, ,, ,,	57′ 60′	58′	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	2	,, ,,	58′ 60′	59′	
d) przesiew z sita 0,5 ,,	2	,, ,,	48′ 42′	45′	
3) Proch niemiecki RgP. krążkowy wilgoć 0,2—0,3% . .		2 gr	80′		
a) pozostał. na sicie 2 mm	2	,,	85′	82′	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	2	,, ,, ,,	72′ 80′	76′	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	2	,, ,,	82′ 80′	81′	
d) przesiew z sita 0,5 ,,	2	,, ,,	62′ 62′	62′	
4) Proch niemiecki rurkowy wilgoć 0,2—0,3%.		2 gr	60′		
a) pozostał. na sicie 2 mm	2	,,	61′	60′	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	2	,, ,,	61′ 61	61′	
c) ,, ,, ,, 0,3 ,,	2	,, ,,	62′ 63′	62′	
d) przesiew z sita 0,5 ,,	2	,, ,,	48′ 50′	49′	

TABLICA Nr. 2.

Zależność stałości prochów mielonych od zawartości wilgoci.

Charakterystyka prochu	Wilgoć w %	Stałość	Wilgoć w %	Stałość	Wilgoć w %	Stałość	UWAGI
Włoski płytkowy							
pozostałość na sicie 1 mm	0,2—0,3	60′	0,73	44′ 44′ 45′	1,18	43′ 43′ 43′	
„ „ „ 0,5 „	0,2—0,3	57′	0,93	45′ 46′ 47′	1,47	37′ 39′ 41′	
niemiecki płytkowy							
pozostałość na sicie 1 mm	0,2—0,3	58′	1,24	45′ 44′ 43′	1,74	42′ 42′ 43′	
„ „ „ 0,5 „	0,2—0,3	59′	1,33	42′ 43, 44′	1,72	38′ 39′ 41′	
niemiecki krążkowy							
pozostałość na sicie 1 mm	0,2—0,3	76′	0,97	52′ 52′ 53′	1,43	51′ 50′ 50′	
„ „ „ 0,5 mm	0,2—0,3	81′	0,98	52′ 54′ 57′	1,06	49′ 49′ 49′	
niemiecki rurkowy							
pozostałość na sicie 1 mm	0,2—0,3	61′	0,83	49′ 49′ 49′	1,02	48′ 47′ 47′	
„ „ „ 0,5 mm	0,2—0,3	62′	0,84	51′ 52′ 54′	1,15	46′ 47′ 48′	

prochu, następnie odważono pewną ilość prochu i dodawano doń odliczoną ilość wody zapomocą rozpylacza, zsypano do słoika, zamykano go hermetycznie i pozostawiano na kilka dni w celu wyrównania się wilgotności w całej masie prochu. Aby ułatwić proces wyrównywania wilgoci w prochu, słoiki te od czasu do czasu wstrząsano. Przed próbą stałości oznaczano ponownie wilgotność prochu. Starano się osiągnąć wilgotność około 1 i około 1½%. Stałość tych prochów porównywano ze stałością prochu o wilgotności normalnej 0,2—0,3%.

Jednocześnie, aby stwierdzić, czy istnieje przytem wpływ rozdrobnienia, przeprowadzano badania wpływu nawilżenia dla dwóch frakcyj: pozostałej na sicie o oczkach 1 mm i oczkach 0,5 mm. Uzyskane wyniki daje tablica Nr. 2.

Jak widzimy, wzrost wilgotności prochów wpływa ujemnie na ich stałość, przyczem rozdrobnienie w tym wypadku nie odgrywa większej roli.

C) Wpływ moczenia w 5% roztworze sody lub nasyconej wodzie wapiennej. Próby zwiększenia stałości mielonych prochów po moczeniu ich w 5% roztworze sody lub nasyconej wodzie wapiennej przeprowadzono w sposób następujący: Moczono daną frakcję zmielonego prochu przez 24 godziny w roztworze sody lub wodzie wapiennej, o temp. pokojowej 15—20° C, następnie spłókiwano kilkakrotnie niewielkiemi ilościami wody, suszono do normalnej wilgotności i poddawano próbie stałości. W tym wypadku badanie przeprowadzono również na tych samych dwóch frakcjach rozdrobnienia. Wyniki prób podaje tablica Nr. 3. Jak z niej widzimy wpływ tego moczenia bynajmniej nie jest dodatni, gdyż prochy moczone wykazują naogół zmniejszenie stałości.

Dodatkowe badania Dr. J. Kardaszewicza nad kwasowością zmielonych prochów w części tłumaczą to zjawisko. W celu oznaczenia kwasowości gotowano 100 gr próbkę prochu zmielonego w 400 cm³ wody przez 5 minut w 100° C i następnie przesącz wodny miareczkowano 1/10 n wodorotlenkiem sodowym, względnie takim samym kwasem siarkowym. Okazało się przytem, że wszystkie badane prochy wykazały przynajmniej niewielką alkaliczność która przeliczona na % Na_2CO_3 wypadła jak następuje:

dla prochu płytkowego włoskiego — 0,012%
dla prochu płytkowego niemieckiego — 0,0062%
dla prochu krążkowego niemieckiego — 0,0127%
dla prochu rurkowego niemieckiego — 0,0112%.

TABLICA Nr. 3.

Wpływ moczenia w 5% roztw. Na_2CO_3 i wodzie wapiennej na stałość mielonych prochów.

Charakterystyka prochu.	Prochy niemoczone		Prochy moczone w 5% roztworze Na_2Co_3		Prochy moczone w roztw. $Ca(OH)_2$		Uwagi
	Wilgoć	Stałość	Wilgoć	Stałość	Wilgoć	Stałość	
Włoski płytkowy							
pozostałość na sicie 1 mm .	0,2—0,3%	60′	0,3	54′	0,33	46′	
" " " 0,5 " . .	"	57′	0,33	52′	0,31	50′	
Niemiecki płytkowy							
pozostałość na sicie 1 mm .	0,2—0,3%	58′	0,20	52′	0,21	57′	
" " " 0,5 " . .	"	59′	0,19	50′	0,24	58′	
Niemiecki RgP krążkowy							
pozostałość na sicie 1 mm .	0,2—0,3%	76′	0,26	58′	0,33	55′	
" " " 0,5 " . .	"	81′	0,31	52′	0,27	60′	
Niemiecki rurkowy							
pozostałość na sicie 1 mm .	0,2—0,3%	61′	0,25	55′	0,31	51′	
" " " 0,5 " . .	"	62′	0,25	56′	0,24	58′	

II. Badanie własności wybuchowych mielonych prochów nitrogliicerynowych obejmowało:

a) rozdęcie bloku Trauzla, b) szybkość detonacji metodą Dautriche'a, c) czułość na rodzaj spłonki inicjującej i d) przenośność detonacji na odległość.

Wszystkie te badania przeprowadzono dla czterech uzyskanych frakcyj rozdrobnienia. Przy wszystkich tych badaniach prochy zmielone posiadały wilgotność normalną 0,2—0,3%.

Przy wszystkich tych badaniach stosowano gęstości ładowania stałe dla danego gatunku prochu i danego rozdrobnienia.

a) rozdęcie w bloku Trauzla przeprowadzono w przepisowym dla tej próby cylindrycznym bloku ołowianym. Do próby brano w myśl przepisów 10 gr materjału badanego, lekko ubijano drążkiem drewnianym, zakładano spłonkę inicjującą Nr. 8, przysypywano piaskiem i zapalano lontem Bickforda. Po wybuchu mierzono wzrost objętości wewnętrznej komory bloku skutkiem wydęcia, spowodowanego wybuchem danego materjału.

Jak widzimy z tablicy Nr. 4 wzrost rozdrobnienia wywiera znaczny wpływ na rozdęcie bloku, co jest zgodne z przewidywaniami, wobec wzrostu aktywnej powierzchni drobniej zmielonego materjału. Dla porównania podajemy, że rozdęcie bloku dla trotylu wynosi 285 cm^3.

b) Szybkość detonacji oznaczono metodą Dautriche'a, stosując do załadowania prochów mielonych rury ∅ 40 mm i długości 300 mm. Przy załadowaniu rur lekko uderzano rurą o stół w celu uniknięcia nierównomierności wypełnienia. Po napełnieniu rur oznaczono gęstość ładowania. Otwory dla spłonek inicjujących Nr. 8 umieszczono w odległości 150 mm od siebie wzdłuż linji tworzącej walca. Otwory te były umieszczone symetrycznie w stosunku do środka tworzącej. Do pomiaru używano lontu detonującego trotylowego o znanej szybkości detonacji, która wynosiła 5140 m/sek. Z uzyskanych wyników zestawionych w tablicy Nr. 4 widzimy, że wraz ze wzrostem rozdrobnienia szybkość detonacji naogół wzrasta. Należy przytem zauważyć, że przy ładowaniu rur dla frakcyj drobniejszych otrzymywano coraz to mniejsze gęstości ładowania, co powoduje, że wpływ rozdrobnienia na szybkość detonacji nie jest tak równomierny i zdarzają się wyniki, zdawałoby się, sprzeczne, jak w wypadku prochu 3-go i 4-go. Zresztą sama metoda pomiaru daje dość duże odchylenia dla poszczególnych oznaczeń.

TABLICA Nr. 4.

Własności wybuchowe mielonych prochów nitroglicerynowych.

Charakterystyka prochu	Gęstość ładowania	Rozdęcie bloku: Szczegółowa	Rozdęcie bloku: Średnia	Szybkość detonacji: Szczegółowa	Szybkość detonacji: Średnia	Czułość na spłonkę	Przenośność	UWAGI
1) Proch włoski płytkowy 2×20×20.		cm³	cm³	mtr.	mtr.			
a) pozostałość na sicie 2 mm	0.762	304 309	307	3779 3707	3743	Nr. 4	2 cm	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	0.736	324 322	323	4294 4332	4313	Nr. 3	2 ,,	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	0.695	384 379	382	4482 4381	4431	Nr. 2	10 ,,	
d) przesiew z sita . . 0,5 ,,	0.676	392 427	410	4381 4941	4661	Nr. 2	> 15 ,,	
2) Proch niemiecki płytkowy 1×3×3		294						
a) pozostałość na sicie 2 mm	—	324	309	—	—	Nr. 4	2 cm	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	0.773	384 339	361	4701 4759	4730	Nr. 3	2 ,,	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	0.705	374 399	386	4942 4899	4920	Nr. 2	10 ,,	
d) przesiew z sita . . 0,5 ,,	0 620	404 434	419	5072	5072	Nr. 2	> 15	
3) Proch niemiecki krążkowy RgP. 3×25×5		304		4331				
a) pozostałość na sicie 2 mm	0-803	304	304	4015	4173	Nr. 4	2 cm	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	0.762	339 314	327	4431 4381	4406	Nr. 3	2 ,,	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	0.742	374	374	4107 4589	4348	Nr. 2	9 ,,	
d) przesiew z sita . . 0,5 ,,	0.625	364 402	383	4145	4145	Nr. 2	> 15 ,,	
4) Proch niemiecki rurkowy ∅ 9×223.		354		4331				
a) pozostałość na sicie 2 mm	0 747	328	341	4482	4406	Nr. 4	2 cm	
b) ,, ,, ,, 1 ,,	0.791	371 334	352	4535 4381	4458	Nr. 3	2 ,,	
c) ,, ,, ,, 0,5 ,,	0.779	359 346	353	4879 5430	5272	Nr. 2	10 ,,	
d) przesiew z sita . . 0,5 ,,	0.705	424	424	4819 4890	4855	Nr. 2	< 15 ,,	

c) Oznaczenie czułości nitroglicerynowych prochów zmielonych na Nr. spłonki inicjującej.

Dla oznaczenia czułości na spłonki brano naboje 100 gr w papierowych tutkach o ∅ 30 mm i próbowano je detonować różnemi spłonkami, poczynając od najsłabszych, aż uzyskano zupełne zdetonowanie całego naboju.

Jak widzimy z tablicy 4-ej najgrubiej zmielony proch, a mianowicie pozostałość na sicie 2 mm detonuje już od spłonki Nr. 4. W miarę wzrastania rozdrobnienia do uzyskania kompletnej detonacji wystarczały już spłonki słabsze Nr. 3 i 2.

d) Oznaczenie przenośności detonacji na odległość. Badanie przenośności przeprowadzano w sposób normalny przepisany dla ładunków górniczych.

Brano szereg nabojów 100 gr w tutkach papierowych o ∅ 30 mm i układano je wzdłuż jednej linji prostej na ziemi w coraz to większych odległościach między dwoma poszczególnemi nabojami.

Do naboju pierwszego zakładano spłonkę inicjującą, następny nabój znajdował się w odległości 1 cm od pierwszego, trzeci o 2 cm od drugiego, czwarty o 3 cm od trzeciego i t. d., aż do odległości 15 cm. Po zdetonowaniu pierwszego naboju detonacja przenosiła się przez powietrze do następnego, aż wreszcie przy pewnej odległości następny nabój już nie detonował całkowicie. Tak określone odległości najdalszego przenoszenia detonacji przez powietrze znajdują się w tablicy 4-ej.

Widzimy tutaj bardzo wyraźny wpływ rozdrobnienia, przyczem różnice między poszczególnemi prochami zacierają się prawie zupełnie i każdy stopień rozdrobnienia charakteryzuje się pewną określoną przenośnością niezależnie od rodzaju prochu.

III. **Badanie możliwości zastosowania mielonych prochów nitroglicerynowych do ładowania granatów ręcznych.** Badania te zostały wykonane przeważnie w instytucjach wojskowych jako bezpośrednio zainteresowanych. W P. W. P. i M. K. wykonano jedynie badania wpływu zamrożenia i odmrażania na czułości zmielonych prochów na tarcie i uderzenie. Badania te zresztą również były powtórzone przez laboratorjum IBMU w Zagożdżonie. Całość badań obejmowała szereg następujących prób;

a) badanie wrażliwości na uderzenie i tarcie mielonych prochów nitroglicerynowych, szczególnie po zastosowaniu wielokrotnego ich zamrażania i odmrażania.

b) badania techniki elaboracyjnej.

c) badanie efektu dźwiękowego wybuchu granatów ręcznych zaczepnych.

d) badanie efektu rozprysku granatów obronnych.

a) **Badanie wrażliwości na uderzenia i tarcie.**

Jak wiadomo, granaty ręczne przechowywane są w magazynach bez zapalników (względnie o ile zapalniki są wkręcone, to bez spłonek inicjujących jak w wypadku niemieckiego granatu trzonowego), które wkręca się dopiero przed samem użyciem. Przed wkręceniem zapalnika odkręca się zamykającą granat nakrętkę, robi się patyczkiem drewnianym dziurę w materjale wypełniającym i dopiero wówczas wkręca się zapalnik ze spłonką inicjującą. W wypadku zastosowania mielonych prochów do ładowania granatów ręcznych, uprzednie przygotowanie otworu patyczkiem jest niemożliwe, ze względu na sypki charakter materjału i dlatego konieczne jest wkręcanie zapalnika wprost w luźny materjał wybuchowy. Wobec tej konieczności, należało przeprowadzić badania nad wrażliwością mielonych prochów nitroglicerynowych na tarcie, wywołane wkręcaniem zapalnika, jak również na uderzenie. Nitrogliceryna, która w dużej ilości wchodzi w skład prochów nitroglicerynowych, należy w stanie wolnym do bardzo wrażliwych materjałów wybuchowych. W prochu jest ona związana z nitrocelulozą, tworząc żelatynę, która odznacza się wielką odpornością na działanie czynników mechanicznych. Wiadomo natomiast, że pod wpływem zmian temperatury, a szczególnie długotrwałego mrozu i następnego odmrażania może nastąpić t. zw. „wypocenie się" nitrogliceryny, która wydzieli się w okresie zamrażania ze związku koloidalnego z nitrocelulozą w postaci kryształków „wykwitów", które następnie topią się i dają kropelki „potu". Kropelki te mogą następnie wsiąkać zpowrotem w proch, powodując na nim tłuste plamy. O ile chodzi o dynamity, to zjawisko wypocenia należy do dość częstych, stwierdzono przytem, że zamrożony dynamit odznacza się znacznie większą wrażliwością na rozmaite czynniki mechaniczne. Odnośnie prochu nitroglicerynowego to wpływ zamrażania jest naogół niewielki, niemniej jednak istnieje. W naszym wypadku ze względu na nieuniknione zjawisko tarcia zapalnika o zmielony proch, należało szczególnie zbadać dane prochy, czy istnieje niebezpieczeństwo wypocenia nitrogliceryny i czy nie grozi to niebezpieczeństwem wybuchu. W myśl dokładnych wskazówek inż. St. Markiewicza (autora) przeprowadzone zostały badania w Laboratorjum Centralnem P. W. P. i M. K. przez dr. inż. Kardaszewicza,

a w Laboratorjum IBMU w Zagożdżonie przez inż. T. Urbańskiego Wyniki tych badań były uspakajające i naogół zgodne, przyczem próby inż. T. Urbańskiego częściowo obostrzone. Badanie przeprowadzano w sposób następujący: Zmielony proch nasypywano do płaskich blaszanek z hermetycznem zamknięciem o wymiarach 5×20×20 (cm) i zanurzano do silnie oziębionej solanki, której średnia temperatura wynosiła około —15° C. Płaską formę blaszanek wybrano umyślnie, aby mieć gwarancję, że cała warstwa prochu zostanie całkowicie przemrożona.

Ponieważ pt. krzepnięcia nitrogliceryny wynoszą +2° C dla odmiany krystalicznej nietrwałej, a +13° C dla odmiany krystal. trwałej, przeto temp. —15° C jest dostatecznie niska, aby wywołać zamarznięcie nitrogliceryny. Nitrogliceryna dość trudno zamarza pomimo przechłodzenia, natomiast raz zamrożona i następnie odmrożona, przy następnem zamrażaniu krystalizuje znacznie łatwiej.

Te własności nitrogliceryny nasunęły odpowiednią metodę badania, polegającą na wielokrotnem zamrażaniu i odmrażaniu, przyczem pierwszy okres trwał aż 4 doby, ze względu na powolność krystalizacji nitrogliceryny. Zamrażanie i odmrażanie postępowały po sobie według następującej kolejności:

1)	zamrażanie	przez	96	godzin	w temp.	od	—10	do	—17°C
2)	odmrażanie	„	24	godz.	„	„	+13	„	+20°C
3)	zamrażanie	„	24	„	„	„	—12	„	—16,5°C
4)	odmrażanie	„	24	„	„	„	+14	„	+21°C
5)	zamrażanie	„	24	„	„	„	—11	„	—17,5°C
6)	odmrażanie	„	4	„	„	„	+14	„	+16°C
7)	zamrażanie	„	48	„	„	„	—12	„	—16,5°C

Po każdem zamrożeniu i odmrożeniu badano proch przez lupę, czy nie da się zauważyć kryształka „wykwitów" lub kropelek nitrogliceryny. W wypadku prochu płytkowego 1×3×3 (mm) po pierwszym okresie wykryto na kilku ziarnkach powierzchniowych wypoconą nitroglicerynę. Pomimo dalszych zamrożeń i odmrożeń więcej tego zjawiska nie zauważono. Po tych wszystkich operacjach badano wrażliwość prochu na uderzenie młota luźnospadowego wagi 5 kg. Badano przytem: a) proch niezamrożony, b) proch zamrożony po 5-ej operacji i odmrożony następnie przez 48 godz. i c) proch zamrożony po 7-ej operacji i nieodmrożony. Poniższa tablica daje zestawienie znalezionych wyników przez inż. T. Urbańskiego.

Tablica 5.

Rodzaj prochu i doświadczenie.	Wysokość w cm przy której proch od uderzenia młotem 5 kg.	
	nie detonuje 5-o krotnie	detonuje przynajmniej 1 raz na 5 uderzeń
I. proch rurkowy ∅ 9 dł. 223 mm		
a) niezamrażany	4	5
b) po 5-ej operacji odmr. 48 g.	3	4
c) po 7-ej „ nieodmrożony	5	6
II. Proch płytkowy 1×3×3 (mm)		
a) niezamrażany	6	7
b) po 5-ej oper. odmroż. 48 g.	7	8
c) po 7-ej „ nieodmrożony	4	5
III. Proch krążkowy RgP 3×25×5		
a) niezamrażany	5	6
b) po 5-ej oper. odmroż. 48 g.	7	8
c) po 7-ej oper. nieodmroż.	7	8
IV. Proch płytkowy 2×20×20		
a) niezamrażany	5	6
b) po 5-ej oper. odmroż. 48 g.	6	7
c) po 7-ej oper. nieodmroż.	6	7

Jak widzimy z powyższych liczb wrażliwość wyżej wyszczególnionych prochów mielonych i nitroglicerynowych, nie pogarsza się pomimo wielokrotnych zamrożeń i odmrożeń.

Badanie wrażliwości na tarcie (wkręcanie metalowego prętu). Dr. Inż. Kardaszewicz zastosował pręt mosiężny o ∅ 8mm. Do rury ∅ 40 mm nasypano proch po przejściu okresów zamrożenia i odmrożenia i obracano w nim powyższy pręt z szybkością około 70 obrotów na minutę przez 30 minut. Żaden z prochów nie zapalił się. W badaniach inż. T. Urbańskiego warunki zostały znacznie zaostrzone. Wzięto pręt żelazny o ∅ 8 mm dług. 120 mm, przyczem w celu zwiększenia tarcia, pręt w części zanurzonej w prochu posiadał nacięcia gwintowane na długości 10 mm, ilość obrotów zwiększono do 120 mm na minutę. Czas trwania doświadczenia wynosił 15 m. Do doświadczenia brano proch po 5-ej operacji. Skutkiem wydzielającego się w czasie tarcia ciepła proch ulegał nawet częściowemu skawaleniu, ale pomimo to zapalenie nie nastąpiło.

Przy powtarzaniu doświadczenia po okresie 7-ym zaostrzono jeszcze warunki, dodając do prochu 10% suchego czystego piasku,

a czas obrotów przedłużono do 30 minut. W tym wypadku następowało skawalenie się prochu, ale zapalenie się nie nastąpiło.

Powyższe badania wykazują dowodnie, że mielony proch nitroglicerynowy jest zupełnie bezpieczny w zastosowaniu do granatów ręcznych.

b) **Badanie techniki elaboracyj.** Granaty ręczne ładuje się naogół materjałami mniej lub więcej sypkiemi i przy ładowaniu ich stosuje się zwykły lejek i patyczek do przepychania od czasu do czasu otworu lejka. Przy ładowaniu szedytami, ze względu na zawarte w nich parafinę, wazelinę lub olej rycynowy czy inny, takie przepychanie od czasu do czasu jest niezbędne z powodu skawalenia się materjału. W wypadku mielonych prochów tej obawy nie było, gdyż jest to materjał suchy i łatwo sypki, oczywiście tylko stopień mielenia musi być odpowiedni, aby ziarnka swobodnie przez lejek przelatywały. Próbna elaboracja przeprowadzona w warsztatach amunicyjnych wykazała rzeczywiście, że elaboracja jest łatwiejsza niż szedytem; dla prochu płytkowego $2 \times 20 \times 20$ wogóle nie było potrzeba stosować pałeczki do przepychania lejka, dla innych okazało się to od czasu do czasu konieczne. Przykrą stroną tej elaboracji może być pył, lecz przez odpowiednie mielenie można ilość pyłu znacznie zmniejszyć, wreszcie zabezpieczenie przed pyłem nie przedstawia większych trudności. W samych początkach elaboracji niektórzy z pracowników mogą odczuwać ból głowy, skutkiem działania nitrogliceryny. Jednak w ciągu krótkiego czasu organizm ludzki przywyka do nitrogliceryny i wówczas przestaje ona już działać szkodliwie.

C. Badanie efektu dźwiękowego wybuchu.

Badanie to przeprowadzono w sposób następujący. Manipulant zapalał granaty w wiadomej dla siebie kolejności, a słuchający ustalał swe wrażenia, przyczem jako wzorcowe, brano granaty zaczepne, ładowane szedytem. Stwierdzono wówczas, że huk wybuchu granatów ładowanych mielonemi prochami nitroglicerynowemi nie ustępuje wiele, lub wcale, co do siły hukowi wybuchu granatów ładowanych szedytem.

D. Badanie efektu rozprysku granatów obronnych.

W celu zbadania na jakie kawałki rozrywa się czerep granatu ładowanego mielonym prochem nitroglicerynowym przeprowadzono po 5 rozprysków dla każdego z badanych prochów, — w sposób zapewniający zebranie następne wszystkich odłamków. Przed elabo-

TABLICA Nr. 6.

L. P.	Materjał wybuchowy	Waga mat. wybuch. w gr.	Waga czerepu w gr.	Odłamki 5 gr ilość	Odłamki 5 gr waga	Odłamki 4 gr ilość	Odłamki 4 gr waga	Odłamki 3 gr ilość	Odłamki 3 gr waga	Odłamki 2 gr ilość	Odłamki 2 gr waga	Odłamki małe ilość	Odłamki małe waga	% skutecz. odłam. wag.	śred. % odłam. skutecz.
1		40	416	24	191	8	32	15	41	28	47	—	49	74,75	
2		40	414	29	187	5	20	18	48	32	62	—	81	76,57	
3	Proch włoski 2×20×20	40	418	22	114	10	42	28	82	53	87	—	85	77,75	66,55%
4		40	419	12	49	4	15	11	30	61	117	—	168	50,35	
5		40	403	1	5	12	42	13	34	86	134	—	159	53,34	
6		40	430	28	143	19	70	20	52	28	48	—	107	72,79	
7		40	416	29	140	30	110	16	44	31	52	—	60	83,17	
8	rurkowy niemiecki	40	397	17	82	15	52	27	79	19	41	—	107	63,97	76,43%
9		40	415	40	190	18	65	16	39	15	39	—	68	80,24	
10		40	400	23	163	19	79	15	47	20	39	—	60	82,00	
11		40	405	—	—	10	37	27	67	53	95	—	158	49,13	
12		40	408	2	10	17	6	25	76	55	110	—	126	64,7	
13	płytkowy niemiecki grafit. 2×6×6	40	397	3	14	5	17	11	30	120	152	—	152	53,65	57,88%
14		40	417	3	17	4	18	26	80	120	124	—	124	57,31	
15		40	404	2	10	13	50	13	39	116	162	—	162	64,6	

racją ważono czerep, napełniano 40 gr danego mielonego prochu. Wynik przeprowadzano w specjalnej komorze, a granat umieszczano w odpowiedniej skrzynce z piaskiem. Po wybuchu zamiatano całą komorę dokładnie, przez przesiewanie wybierano odłamki żelazne, względnie wyciągano je magnesami.

Wyniki tych badań, osiągnięte z trzema gatunkami prochów mielonych, daje tablica Nr. 6.

Jak widzimy z tablicy Nr. 6 mielone prochy nitroglicerynowe dają dobrą wydajność odnośnie % skutecznych odłamków. Wydajność ta da się łatwo regulować przez odpowiednie rozdrobnienie prochu. W porównaniu z analogicznem działaniem szedytu, mielone prochy nitroglicerynowe okazały się znacznie lepsze. Szedyt w tych samych skorupach daje znacznie mniejszy procent odłamków skutecznych.

Wnioski:

1) Ujmując całokształt przeprowadzonych prób i badań należy stwierdzić, że przewidywania por. Hołowacza odnośnie wykorzystania starych mielonych prochów nitroglicerynowych zostały całkowicie potwierdzone przez doświadczenia. Mielone prochy nitroglicerynowe okazały się dobrym materjałem kruszącym, nadającym się do wielu robót minerskich, a także do ładowania ręcznych granatów.

2) Dzięki pomysłowi por. Hołowacza udało się uratować znaczne ilości kilogramów prochów od nieużytecznego zniszczenia.

3) Na przyszłość należałoby wziąć pod uwagę wszystkie wspomniane w niniejszej pracy możliwości, zanim przystąpi się do niszczenia niepewnych prochów.

4) Należy dalej kontynuować badania nad innemi jeszcze sposobami wyzyskania starych prochów.